

**CENTRO PAULA SOUZA**  
**ETEC PROF. CARMELINO CORRÊA JÚNIOR**  
**ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL**  
**DE TÉCNICO EM BIOTECNOLOGIA**

**Nicolle Gaspar de Pádua**

**USO DE BIOMARCADORES NO COLOSTRO SUÍNO COMO**  
**FERRAMENTA BIOTECNOLÓGICA PARA SELEÇÃO GENÉTICA EM**  
**REBANHOS**

**FRANCA**

**2025**

**Nicolle Gaspar de Pádua**

**USO DE BIOMARCADORES NO COLOSTRO SUÍNO COMO  
FERRAMENTA BIOTECNOLÓGICA PARA SELEÇÃO GENÉTICA EM  
REBANHOS**

Trabalho de Conclusão de curso, apresentado ao Curso Técnico em Biotecnologia Integrado ao Ensino Médio da Etec Prof. Carmelino Corrêa Júnior, orientado pela Profa. Dra. Joana D'Arc Félix de Sousa, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Biotecnologia.

**FRANCA**

**2025**

“<sup>17</sup> pois os nossos sofrimentos leves e momentâneos estão produzindo para nós uma glória eterna que pesa mais do que todos eles. <sup>18</sup> Assim, fixamos os olhos, não naquilo que se vê, mas no que não se vê, pois o que se vê é transitório, mas o que não se vê é eterno.”

2 Coríntios 4:17,18

## RESUMO

**DE PÁDUA, Nicolle Gaspar. Uso de Biomarcadores no Colostro Suíno como Ferramenta Biotecnológica para Seleção Genética em Rebanhos.** Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado para Obtenção do Título de Técnico em Biotecnologia Integrado ao Ensino Médio. ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, Franca/SP, 2025.

A biotecnologia aplicada à criação de animais tem assumido papel central no avanço da produtividade e na consolidação de sistemas sustentáveis. Na suinocultura, o uso de ferramentas biotecnológicas possibilita identificar características de interesse zootécnico com maior precisão, contribuindo para a seleção genômica e o aprimoramento genético do rebanho. Este trabalho aborda a aplicação dessas ferramentas na análise de biomarcadores presentes no colostro suíno, fluido essencial para a transferência de imunidade passiva, o desenvolvimento inicial e a sobrevivência dos leitões. Composto por imunoglobulinas, fatores de crescimento e proteínas bioativas, o colostro torna-se um objeto estratégico para estudos que visam compreender o desempenho maternal e neonatal.

A investigação discute técnicas amplamente utilizadas na biotecnologia contemporânea, como PCR, qPCR, ELISA e abordagens proteômicas, destacando sua alta sensibilidade e especificidade na detecção de marcadores moleculares relevantes. A partir dessas metodologias, torna-se possível identificar matrizes com maior eficiência reprodutiva, melhor capacidade imunológica e desempenho superior, favorecendo processos seletivos mais objetivos e precoces.

O trabalho também apresenta as limitações associadas ao uso de biomarcadores, incluindo custos operacionais elevados, necessidade de infraestrutura laboratorial e variabilidade biológica entre indivíduos. Apesar desses desafios, evidencia-se que os benefícios — como a redução da mortalidade neonatal, o aumento da resistência dos leitões e a melhoria da acurácia no melhoramento genético — superam amplamente as dificuldades. Assim, conclui-se que a biotecnologia desempenha papel indispensável no futuro da suinocultura, promovendo sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e alinhados às demandas atuais do setor.

**Palavras-chave:** Biotecnologia; Colostro suíno; Biomarcadores; Seleção genética; Melhoramento animal.

## ABSTRACT

**DE PÁDUA, Nicolle Gaspar. Use of Biomarkers in Swine Colostrum as a Biotechnological Tool for Genetic Selection in Herds.** Course Conclusion Paper Presented for Obtaining the Title of Technician in Biotechnology Integrated in High School. ETEC Prof. Carmelino Correa Junior, Franca/SP, 2025.

Biotechnology applied to pig farming has established itself as an essential tool for increasing productivity and promoting more efficient and sustainable livestock systems. This study addresses the use of biotechnological techniques in the identification of biomarkers present in pig colostrum, a fundamental component for the transfer of passive immunity and for the initial development of piglets. Because it is rich in immunoglobulins, bioactive proteins, and growth factors, colostrum is a strategic matrix for evaluating maternal performance and the productive potential of breeding stock.

Techniques such as PCR, qPCR, ELISA, and proteomic methodologies allow the detection of molecular markers with high sensitivity, making it possible to identify females with better immune and reproductive capacity. Despite limitations such as operating costs, the need for specialized infrastructure, and biological variability, the benefits of using biomarkers are significant. Among them are the reduction of neonatal mortality, the strengthening of piglet immunity, and increased precision in genetic improvement.

Thus, biotechnology is indispensable for the advancement of pig farming, contributing to more sustainable, technified production systems that are aligned with the current demands of the sector.

**Keywords:** Biotechnology; Swine colostrum; Biomarkers; Genetic selection; Animal breeding.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	09
1.1	Contextualização do tema	
1.2	Justificativas ou Problema de Pesquisa.....	06
1.3	Objetivos .....	08
1.3.1	Objetivo Geral.....	00
1.3.2	Objetivos Específicos.....	00
2	DESENVOLVIMENTO.....	12
2.1	Fundamentos da Biotecnologia Aplicada à Produção Animal.....	00
2.1.1	Conceito e evolução da biotecnologia.....	00
2.1.2	Aplicações da biotecnologia na pecuária.....	00
2.1.3	Melhoramento genético em suínos.....	00
2.1.4	Biotecnologia na seleção genômica.....	00
3	O Colostro Suíno e sua Relevância Biológica.....	00
3.1	Composição do colostro suíno.....	00
3.2	Variações bioquímicas entre matrizes.....	00
4	Biomarcadores: Conceitos e Aplicações.....	00
4.1	Biomarcadores moleculares em espécies animais.....	00
4.2	Biomarcadores no colostro: potencial para seleção genética.....	00
4.3	Técnicas biotecnológicas utilizadas na identificação de biomarcadores.....	00
4.3.1	PCR e Qpcr.....	00
4.3.2	ELISA.....	00
4.4.3	Proteômica.....	00

5	Aplicabilidade dos Biomarcadores na Seleção Genética de Rebanhos Suínos.....	00
5.1	Vantagens da seleção assistida por biomarcadores.....	00
5.2	Desafios e limitações da aplicação em larga escala.....	00
6	CONCLUSÃO.....	19
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativas

Atualmente, a suinocultura brasileira vem sendo uma das principais e mais importantes cadeias produtivas na economia. A carne suína é, segundo os dados da FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) e outros estudos, a proteína de origem animal mais consumida no mundo, com representação de 42,9% do consumo global, ultrapassando a de aves e bovinos. Entretanto, a qualidade sanitária e nutricional, bem como a alta complexidade do cronograma vacinal – o qual deve ser seguido estritamente e seguindo recomendações veterinárias –, são estigmas que perpetuam pela falta de informações verídicas.

Um programa básico de vacinação inclui as vacinas contra doenças como parvovirose e pneumonia enzoótica, porém a aplicação de antibióticos apresenta diversas problemáticas, principalmente relacionadas ao desenvolvimento de resistência bacteriana e seus impactos na saúde pública. O desenvolvimento de cepas resistentes vem da pressão seletiva sobre as bactérias devido a automedicação e uso indiscriminado desses agentes (OPAS, 2024).

A integração da biotecnologia na produção animal tem se mostrado essencial para aprimorar a saúde, o desempenho zootécnico e a segurança alimentar. Técnicas modernas, como a seleção assistida por marcadores genéticos, a utilização de probióticos desenvolvidos por engenharia microbiana e o desenvolvimento de vacinas mais específicas, permitem reduzir o uso de antibióticos e aumentar a resistência natural dos animais a doenças. Além disso, a biotecnologia contribui para a identificação de genes relacionados à produtividade e à resistência imunológica, promovendo sistemas de criação mais sustentáveis e alinhados às demandas atuais de bem-estar animal e saúde pública.

Nesse contexto, destaca-se a importância da colostragem, processo pelo qual o recém-nascido recebe anticorpos presentes no colostro materno, garantindo a chamada transferência de imunidade passiva. Esse mecanismo é fundamental nos primeiros dias de vida, período em que o sistema imunológico dos animais ainda não

é plenamente funcional. A falha na ingestão adequada de colostro pode comprometer o desenvolvimento, aumentar a suscetibilidade a infecções e reduzir os índices de produtividade, gerando impactos econômicos e sanitários significativos. Dessa forma, estratégias de manejo que assegurem a qualidade e o fornecimento do colostro são indispensáveis para o sucesso da criação.

Outro ponto de relevância é a utilização de biomarcadores na avaliação da saúde e qualidade na produção suinícola. Os biomarcadores consistem em indicadores biológicos mensuráveis — como proteínas, citocinas, imunoglobulinas e metabólitos — que permitem monitorar o estado fisiológico dos animais, diagnosticar precocemente doenças e avaliar a eficácia de estratégias de manejo. Na suinocultura, a aplicação desses marcadores tem avançado principalmente no monitoramento da qualidade do colostro, considerando que esse fluido é a principal via de transferência de imunidade passiva para os leitões recém-nascidos.

O colostro suíno apresenta uma elevada concentração de imunoglobulina G (IgG), considerada o principal biomarcador de qualidade. A quantificação da IgG permite avaliar se a matriz produziu colostro com capacidade suficiente para garantir proteção imunológica aos leitões nas primeiras horas de vida. Além da IgG, outros biomarcadores presentes no colostro, como a imunoglobulina A (IgA) e a lactoferrina, também têm importância na proteção contra patógenos entéricos e respiratórios, atuando na colonização inicial da microbiota intestinal e na formação da barreira mucosa.

Marcadores inflamatórios, como interleucinas (IL-6, IL-10) e o fator de necrose tumoral alfa (TNF- $\alpha$ ), vêm sendo investigados como potenciais parâmetros para monitorar a saúde da matriz e a qualidade imunológica do colostro fornecido. A análise desses biomarcadores fornece informações não apenas sobre a capacidade de defesa transferida aos leitões, mas também sobre o estado metabólico e imunológico da matriz no período periparto. Isso possibilita identificar matrizes com risco de produzir colostro de baixa qualidade e adotar intervenções nutricionais ou de manejo preventivas.

A utilização de biomarcadores na avaliação do colostro também tem papel estratégico no controle de qualidade dos sistemas produtivos. Ao estabelecer parâmetros mínimos de concentração de IgG ou de outros compostos bioativos, é

possível padronizar programas de manejo, selecionar matrizes com melhor desempenho imunológico e reduzir as taxas de mortalidade neonatal. Dessa forma, os biomarcadores se consolidam como ferramentas práticas e de alta relevância, promovendo maior eficiência no processo de colostragem e contribuindo para a saúde, o bem-estar e o desempenho zootécnico dos suínos. (Souza et al, 2021)

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Se alcançado, dá resposta ao problema ao reunir, sistematizar e analisar a revisão bibliográfica acerca do uso de biomarcadores presentes no colostro suíno como ferramenta biotecnológica para a seleção genética em rebanhos. A partir disso, pretende-se consolidar o conhecimento existente, destacando a relevância desses marcadores no monitoramento da qualidade colostrada e na identificação de características genéticas de interesse produtivo e sanitário. Além disso, busca-se evidenciar as limitações e lacunas da pesquisa atual, de modo a incentivar novas investigações e contribuir para a expansão de uma área ainda pouco explorada dentro da suinocultura e da biotecnologia aplicada.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar um levantamento bibliográfico em bases científicas nacionais e internacionais sobre biomarcadores presentes no colostro suíno;
- Identificar e descrever os principais biomarcadores relacionados à qualidade colostrada e ao desempenho produtivo de suínos;
- Analisar a relevância do uso de biomarcadores como ferramenta biotecnológica para a seleção genética em rebanhos suínos;
- Comparar os avanços obtidos em pesquisas já realizadas com o cenário atual da suinocultura, ressaltando suas limitações e potenciais aplicações;
- Evidenciar as lacunas de conhecimento existentes, destacando a necessidade de novas investigações na área;

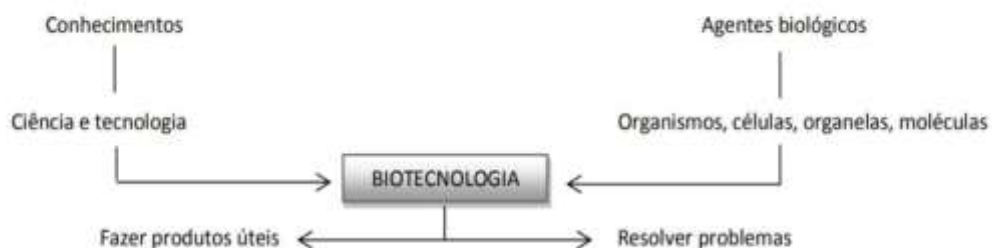
- Contribuir para a valorização do tema como campo emergente dentro da biotecnologia e da produção animal.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Fundamentos da Biotecnologia Aplicada à Produção Animal

A biotecnologia, quando apresentada de modo simplista, pode ser vista como a fusão entre biologia e tecnologia. Entretanto, por se tratar de uma ciência multidisciplinar, pode ser compreendida como a utilização de técnicas e microrganismos para fabricar, modificar ou desenvolver processos de maneira que atenda às funções sociais e econômicas das mais diversas áreas de conhecimento (FALEIRO, 2011).

**Figura 1.** Biotecnologia: fusão entre biologia e tecnologia.



**Fonte:** (MALAJOVICH, MARIA ANTONIA. Biotecnologia 2011).

A biotecnologia tem sido aplicada na produção animal desde os tempos remotos, onde os produtores - ainda que sob um prisma discrepante e totalmente empírico - já apresentavam o desenvolvimento de técnicas que visavam melhorar seus produtos, levando em consideração qualidades desejáveis (visíveis e práticas, como a força, a docilidade, o tamanho ou a capacidade de produzir carne, leite e couro) (COUTINHO et al., 2010, p.123).

Tais técnicas foram se aprimorando a partir de contribuições à literatura de cientistas agrários como R. Bakewell com publicação de livros genealógicos de diversas raças (XVIII) e o desenvolvimento da maior parte da teoria do melhoramento animal por C. Darwin e G. Mendel. Tais contribuições resultaram em ferramentas de biologia

molecular e na compreensão da genética por trás da eficiência, bem como o aprimoramento da seleção animal com inseminação artificial, transferência de embriões e FIV (fertilização in vitro).

Vacinas recombinantes para prevenção de doenças e a utilização de seleção genômica, por exemplo, só foram possíveis devido a concretização dos estudos acerca da Biotecnologia, em especial sua fundamentação na pecuária. Marcadores localizados próximos aos genes de interesse na sequência do DNA possibilitam o rastreamento da segregação de alelos ao longo das gerações, o que, por sua vez, permite acompanhar a transmissão das características desejadas. (COUTINHO, 2010)

## **2.2 Aplicações da biotecnologia na pecuária**

As aplicações da biotecnologia podem ser subdivididas por etapas, desde práticas antigas até os avanços modernos. A Biotecnologia Antiga ou Tradicional, por exemplo, tem registros desde os primórdios da domesticação dos animais. Ainda que de forma empírica, já se utilizavam formas rudimentares de biotecnologia, como seleção natural, cruzamentos seletivos para melhores características, manejo reprodutivo simples etc. A Inseminação Artificial (IA) surgiu no século XX, e sua adoção foi um marco na reprodução animal (FAOHome, 2023)

A partir de meados do século XX, com o avanço da biologia molecular, surgiu a Biotecnologia Clássica ou Intermediária, onde já se utilizavam técnicas que aumentaram a precisão do melhoramento. Exemplos incluem controle de reprodução por sincronização de cio, indução de superovulação (SOV), transferência de embriões, sexagem de espermatozoides ou embriões, uso de congelamento de sêmen etc. Estas ferramentas permitiram reduzir o intervalo de geração e ampliar o alcance da disseminação de genes desejáveis (Animal Biotechnology, PubMed).

Na biotecnologia moderna, ou também chamada de Pós-Genômica, percebeu-se que nos últimos 30 a 50 anos houve integração de tecnologias moleculares, “omics” (genoma, o transcriptoma, o proteoma ou o metaboloma), bioinformática, identificação de marcadores genéticos, além da edição genômica (como CRISPR-Cas) e técnicas de clonagem. Tais inovações permitem não somente selecionar animais com base em fenótipos (características visíveis), mas prever e selecionar

com base em genótipos e biomarcadores, antecipando o potencial produtivo ou imunológico antes mesmo da expressão fenotípica.

As aplicações e a progressiva evolução das técnicas tornaram possível o uso da seleção genômica nos rebanhos, ou seja, a seleção baseada em dados genéticos e marcadores moleculares, como ferramenta para acelerar o ganho energético. Em animais de interesse zootécnico (aqueles de produção), isso significa selecionar reprodutores e matrizes com base não só em suas características externas (fenótipo), mas em sua informação genética e biologia molecular.

### **2.2.1 Melhoramento genético em suínos**

O melhoramento genético em suínos consiste no conjunto de métodos e estratégias destinadas a aumentar o desempenho produtivo, reprodutivo e a resistência sanitária dos rebanhos por meio da seleção e do acasalamento dirigido.

Tradicionalmente, a seleção era realizada com base no fenótipo de cada um, onde os animais eram escolhidos a partir de características observáveis (ganho de peso, conversão alimentar, precocidade, qualidade da carcaça) e no desempenho das gerações anteriores. Com o avanço das estatísticas e dos modelos de avaliação genética lineares (BLUP – *Best linear Unbiased Prediction*), tornou-se possível estipular valores genéticos aditivos e realizar seleção com maior acurácia e controle da herdabilidade (MEUWISSEN et al., 2001; revisão sobre seleção genética e BLUP).

A incorporação de ferramentas reprodutivas e de manejo, como inseminação artificial, transferência de embriões e bancos de sêmen, ao longo do século XX acelerou a disseminação de genes desejáveis e reduziu o intervalo de geração, fatores centrais para ganhos mais rápidos. Em muitos programas, a combinação de melhoramento genético com estratégias de manejo reprodutivo permitiu concentrar progressos em parâmetros econômicos essenciais, como eficiência alimentar e taxa de crescimento. No contexto nacional, iniciativas organizadas por associações de criadores também estruturaram registros genealógicos e programas de avaliação, fundamentais para o progresso no melhoramento.

A partir do final do século XX e, especialmente, nas últimas duas décadas, a biotecnologia molecular transformou o melhoramento suinícola com a introdução de marcadores moleculares, painéis SNP (*single nucleotide polymorphism*) e, principalmente, a seleção genômica. Ela permite estimular os méritos genômicos (*genomic breeding values* – GEBV) usando inúmeros marcadores distribuídos pelo genoma, reduzindo o tempo necessário para identificar reprodutores superiores e aumentando a precisão da seleção, principalmente para caracteres de baixa herdabilidade ou expressos tardiamente, como por exemplo reprodução, longevidade ou resistência a doenças) (TAYLOR, FRANCIS, Fundamentos e Impacto da Seleção Genômica).

Os avanços “ômicos” e a integração com bioinformática têm permitido não prever apenas méritos genéticos, mas também compreender rotas biológicas subjacentes às características de interesse. Essa abordagem facilita a identificação de biomarcadores (moleculares ou proteicos) associados a desempenho, saúde e resposta imune – abrindo caminho para estratégias de seleção assistida por marcadores e para a inclusão de informações funcionais nos modelos de previsão genômica.

Mais recentemente, novas tecnologias como a edição do genoma e métodos de aprimoramento genético que combinam fenotipagem de alta precisão (imagens, sensores, dados automatizados) com genótipos estão criando oportunidades inovadoras para programas de melhoramento que são mais ágeis e focados. Essas abordagens possibilitam intervenções específicas, como, por exemplo, a adição de variantes ligadas à resistência a doenças, além de permitir a coleta de fenótipos complexos em grandes quantidades, o que é particularmente importante para características que são desafiadoras de mensurar em muitos animais. Entretanto, a implementação prática e a aceitação regulatória diferem de acordo com a região e suscitam questões éticas e financeiras (Edição Gênica e Fenotipagem Moderna).

Apesar dos benefícios, a melhoria genética em suínos enfrenta desafios significativos, como a necessidade de uma fenotipagem que seja tanto precisa quanto econômica (especialmente para características relevantes do ponto de vista maternal e sanitário), a alocação de recursos em populações de referência que sejam representativas, o controle dos efeitos ambientais e a gestão dos

antagonismos genéticos entre características (produção em comparação com robustez). Além disso, a introdução de novas tecnologias requer uma infraestrutura adequada, formação técnica e uma análise econômica para garantir que a adoção seja viável em sistemas comerciais e em pequenas unidades.

### **2.2.2 Biotecnologia na seleção genômica**

A seleção genômica é uma alternativa de melhoramento que utiliza marcadores moleculares distribuídos ao longo do genoma para estimar os valores genéticos aditivos de indivíduos, permitindo a previsão do mérito genético com maior precisão e rapidez em comparação com métodos tradicionais baseados apenas em genealogia. Essa abordagem tem sido amplamente aplicada na suinocultura, visando melhorar características de interesse econômico, como crescimento, eficiência alimentar e resistência a doenças (Su et al., 2025).

Estudos recentes demonstram que a acurácia da predição de valores genéticos estimados (GEBVs) varia conforme o modelo estatístico utilizado. Por exemplo, o modelo ssGBLUP (*single-step genomic BLUP*) apresentou acurácias de predição entre 0,371 e 0,502 para características de carcaça e corpo em suínos comerciais, superando outros modelos como GBLUP e abordagens bayesianas em termos de precisão preditiva (ZHANG et al., 2025).

A implementação da seleção genômica tem mostrado resultados significativos em programas de melhoramento. No programa Danbred, estima-se que a seleção genômica aumente o ganho genético em até 30% quando todos os suínos são genotipados. Tal avanço é particularmente notável para características desafiadoras de medir, como conversão alimentar e tamanho da leitegada, que são de baixa herdabilidade e difíceis de avaliar fenotipicamente (DanBred, 2021).

Além disso, a combinação de grupos de referência de diferentes tamanhos tem se mostrado eficaz na melhoria da acurácia de programas de melhoramento, especialmente em granjas de pequeno e médio porte. A integração de informações genômicas de diversas populações permite uma avaliação mais robusta e precisa, otimizando os recursos disponíveis e acelerando o progresso genético (ZHANG et al., 2025).

Entre as principais técnicas, destaca-se a:

- **Genotipagem por SNP** (*Single Nucleotide Polymorphism*) consiste na identificação de variações de nucleotídeos individuais no DNA do animal, permitindo a análise de milhares de marcadores distribuídos pelo genoma. Essa técnica é fundamental para a previsão do mérito genético (GEBV – *Genomic Estimated Breeding Value*) e para a seleção precoce de reprodutores (Su et al., 2025).
- **Seleção assistida por marcadores moleculares (MAS – Marker Assisted Selection)** baseia-se na identificação e utilização de poucos marcadores ou QTLs (*Quantitative Trait Loci*) fortemente associados a características de interesse, de modo que indivíduos com genótipos favoráveis para esses loci sejam preferencialmente selecionados (Meuwissen, Goddard, 2007; Hayes, Goddard, 2003). Embora essa abordagem tenha sido amplamente aplicada historicamente, sobretudo, para características de alta herdabilidade ou com grandes efeitos individuais, suas limitações tornam-na menos eficaz para traços poligênicos de baixa herdabilidade ou para os quais os efeitos genéticos são distribuídos por muitos loci (Garrick, 2017).

Na prática, a MAS é tipicamente implementada em cinco etapas principais: (i) mapeamento ou GWAS (*Genome-Wide Association Study*) para identificação de QTL ou genes candidatas; (ii) validação dos marcadores ou regiões associadas em populações independentes; (iii) inclusão dos indivíduos genotipados com esses marcadores no programa de seleção; (iv) cálculo de índices de mérito genético que consideram os genótipos favoráveis; (v) utilização desses índices para a seleção e acasalamento de animais com maior probabilidade de transmitir alelos benéficos. Por exemplo, na suinocultura foram identificados genes como MC4R, RYR1 e GDF8 – associados a crescimento, qualidade de carne e deposição de gordura – e esses marcadores têm sido usados comercialmente em programas como o MAS.

- **RNA-Seq (sequenciamento de RNA)** é utilizado para avaliar o transcriptoma e identificar genes diferencialmente expressos em tecidos específicos, permitindo associar perfis de expressão gênica com fenótipos desejáveis. Essa análise possibilita a compreensão dos mecanismos moleculares que regulam características complexas, como eficiência alimentar, qualidade da carne e resposta imunológica, otimizando a seleção de reprodutores com base em dados funcionais (Chen et al., 2023).
- **Epigenôma**, por sua vez, tem ganhado relevância ao investigar modificações químicas no DNA e na cromatina – como a metilação do DNA – que influenciam a expressão gênica sem alterar a sequência nucleotídica. Estudos recentes demonstram que perfis epigenéticos herdáveis podem afetar características de desempenho produtivo e reprodutivo em suínos, sendo, portanto, uma nova fronteira para a melhoria genética sustentável (Wang et al., 2025).
- **Edição gênica por CRISPR-Cas9** representa uma das ferramentas mais inovadoras no melhoramento genético de suínos. Essa técnica possibilita a introdução, deleção, silenciamento ou modificação de genes específicos, visando a obtenção de animais com características desejadas, como resistência a infecções virais (como exemplo a PRRSV), aumento da taxa de crescimento ou melhoria na qualidade nutricional da carne. A aplicação do CRISPR em suinocultura, embora ainda em estágios experimentais, já demonstrou potencial para acelerar significativamente o progresso genético e reduzir a dependência de longos ciclos de seleção (Xiang et al., 2023)

Essas metodologias, quando aplicadas de forma integrada, configuram um novo paradigma de melhoramento genético de precisão, no qual informações genômicas, transcriptômicas, epigenéticas e fenotípicas são analisadas de maneira conjunta para maximizar a eficiência da seleção. Essa abordagem multiescalar permite não apenas identificar os indivíduos geneticamente superiores, mas também compreender os mecanismos biológicos e regulatórios que controlam as características de interesse econômico, como crescimento, eficiência alimentar e

resistência a doenças. A integração entre essas camadas de informação – conhecida como integração multi-ômica – tem se mostrado fundamental para aprimorar os modelos preditivos, reduzir a incerteza associada à estimativa dos valores genéticos e promover ganhos genéticos mais consistentes e sustentáveis nas populações suínas (Zhang et al., 2025).

Na prática, a integração dessas técnicas tem sido amplamente adotada por programas internacionais de melhoramento genético, como DanBred, Topings Norsvin e Genus PIC, que utilizam plataformas multi-ômicas e modelos estatísticos avançados para estimar com maior precisão os valores genéticos dos reprodutores. Esses programas combinam dados genômicos de alta densidade, informações genotípicas de desempenho e registros produtivos em larga escala, permitindo ganhos genéticos mais rápidos e direcionados. Além disso, o uso de algoritmos de *machine learning* e de modelos como o ssGLUP tem aprimorado a predição genômica, reduzindo o intervalo entre gerações e otimizando a seleção de animais superiores em termos de produtividade, qualidade da carne e resistência a enfermidades (Su et al., 2025; Zhang et al., 2025).

### **3 O Colostro Suíno e sua Relevância Biológica**

O SI parece ter uma atividade bastante reduzida até o momento do nascimento, pois, durante a fase fetal, o feto experimenta uma estimulação antigênica externa limitada, o que resulta em uma quantidade muito baixa de células T efectoras/memória (Sinkora e Butler, 2009). Ademais, a população de linfócitos B consiste predominantemente em células imaturas, sem a capacidade de gerar anticorpos.

A placenta suína possui uma estrutura epiteliocorial difusa que efetivamente bloqueia a passagem de imunoglobulinas maternas ou células do sistema imunológico da porca para os leitões durante a gestação. Como resultado, ao nascer, o leitão apresenta agamaglobulinemia, o que o torna vulnerável nas primeiras semanas de sua vida. Portanto, a proteção imunológica do leitão nesse período inicial depende completamente da imunidade que recebe da mãe, por meio da ingestão de imunoglobulinas (Igs) presentes no colostro e no leite (Rooke e

Bland, 2002; Salmon et al., 2009). Consequentemente, os leitões não conseguem montar uma resposta imune adequada, já que o sistema imunológico ainda apresenta uma imaturidade funcional em relação à produção de imunidade tanto humoral quanto celular (Pomorska-Mol et al., 2010). O colostro surge como a primeira fase do leite materno, secretado imediatamente após o parto e com duração média de produção de 2 a 5 dias, sendo de suma importância para o desenvolvimento, pois é responsável pela transferência da maior parte de imunoglobulinas para o neonato, auxiliando assim no fortalecimento do sistema imune dos leitões.

A prática de transferência de anticorpos da matriz aos leitões através da colostragem garante maiores taxas de sobrevivência durante o período mais crítico, que se estende dos primeiros dias de vida até o final da lactação (HERPIN et al., 2002). Se durante o manejo, por algum motivo, os neonatos não receberem ou receberem o colostro em menor quantidade ou qualidade, seja em decorrência do número exorbitante de crias por leitegada, ingurgitamento, dificuldades da própria fêmea em amamentar (principalmente em casos de primíparas e hiperprolíficas), dentre outras possíveis causas, eles estarão vulneráveis. A falta de colostro pode levar os leitões à inanição, hipotermia, menor peso ao abate ou desenvolvimento tardio, além de torná-los suscetíveis a infecções, como diarreias (*Coccidiose*, *Clostridiose*, *Colibacilose* etc) e consequentemente a um aumento na taxa de mortalidade (FERRARI, 2013; FIX et al., 2010).

A seleção para fêmeas hiperprolíficas corroborou para o aumento do tamanho da leitegada, entretanto, não houve mudanças relacionadas ao número de tetos. Granjas que tem alto investimento em genética suína e no material genético na maioria dos casos alcançam em média 16 leitões nascidos vivos por parto, porém esses neonatos acabam tendo acesso a somente seis a sete pares de tetos no momento da mamada. Considerando que cada leitão, desde o primeiro já desenvolve um comportamento instintivo e hierárquico no qual cada filhote estabelece uma preferência por um teto específico logo após o nascimento, nota-se que a hiperprolificidade gerou maior desuniformidade e disputa da leitegada devido ao nascimento de um número maior de leitões com baixo peso. Os leitões que não estão no topo hierárquico e não têm teto possuem uma viabilidade comprometida

devido à incapacidade de ingerirem quantidades adequadas de colostro, o qual representa sua principal fonte de energia, além não lhe garantir imunidade passiva.

Por esta razão, a qualidade do colostro é um fator de grande importância para a vida da prole, sendo essencial a análise de sua qualidade. Na dissertação para obtenção do mestrado, a pesquisadora Shaiana Salete, no artigo “Influência de Diferentes Fontes de Colostro na Ontogenia Imune e Amadurecimento Intestinal do Leitão”, fez a comparação entre o colostro de porcas e sucedâneos lácteos na ontogênese imunológica (desenvolvimento do sistema, desde as células-tronco hematopoiéticas até a maturação completa das células imunes) e maturação intestinal de leitões. O estudo, realizado com 60 leitões divididos em seis grupos experimentais, avaliou a influência da origem do colostro nas concentrações de imunoglobulinas, citocinas e na resposta imune. Os leitões foram eutanasiados nos dias 1 e 28 de idade para a avaliação das concentrações de imunoglobulinas e citocinas no colostro e no soro dos leitões. Amostras do baço, linfonodo, timo foram coletados para avaliar a ontogênese imune e intestino delgado para avaliar a maturação intestinal. Os resultados mostraram que os leitões que ingeriram colostro de porcas apresentam maiores níveis de imunoglobulinas e melhor resposta das células imunes, principalmente na concentração de citocinas Th1, Th2 e Th17 e a capacidade das células B e T dos órgãos linfáticos e das células mononucleares do sangue de responder aos mitógenos, enquanto aqueles alimentados com sucedâneo tiveram desempenho imunológico inferior, comprovando sua eficiência biológica.

### **3.1 Composição do colostro suíno**

As imunoglobulinas maternas são concentradas do sangue da matriz para o colostro na glândula ductal por meio de um mecanismo neonatal. A concentração de IgG no colostro são maiores nas primeiras horas após o parto, mas diminuem gradativamente nas oito horas subsequentes. Ainda, dentro de 10 a 12 horas após o nascimento do primeiro leitão o nível de IgG cai significativamente. Portanto, a ingestão adequada de colostro nas primeiras horas após o nascimento é crucial para uma defesa imunológica inicial. A recomendação é que cada leitão receba um mínimo de 40ml de colostro nas primeiras 5 a 7 horas de vida, enquanto nas primeiras 24 horas de vida, o leitão deve ingerir um total de 250ml de Ig.

Segundo Pugh (2005), o monitoramento em fêmeas jovens é raramente feito, havendo o risco de que o neonato venha ingerir um colostro de qualidade inadequada e não adquira imunidade suficiente. Alguns estudos nos mostram que o refratômetro é realmente eficiente para a avaliação do colostro suíno e nos traz parâmetros para a avaliação. Entre os constituintes do colostro suíno, as proteínas representam uma fração de destaque, especialmente os três tipos imunoglobulinas: IgG (70-80%), IgM (10-15%) e IgA (10-15%) (PERES, 2000). Como os leitões nascem agamaglobulinêmicos devido à barreira placentária da espécie, é necessário o consumo na quantidade e qualidade indicadas, atentando-se não apenas as imunoglobulinas, como também nas proteínas funcionais, como lactoferrina, lisozima e diversas citocinas que possuem propriedades antimicrobianas e imunomoduladoras. A lactoferrina, por exemplo, atua na inibição do crescimento bacteriano pela ligação ao ferro, enquanto as citocinas regulam a resposta imune e auxiliam na maturação das células intestinais. Tais componentes, em conjunto, contribuem para a defesa inicial do organismo e para o desenvolvimento do sistema adaptativo dos leitões (WU et al., 2019).

Os fatores de crescimento também estão presentes em concentrações significativas no colostro suíno, destacando-se o IGF-I (fator de crescimento semelhante à insulina tipo I) e o EGF (fator de crescimento epidérmico). Esses fatores exercem influência direta sobre a proliferação e diferenciação das células epiteliais intestinais, promovendo o desenvolvimento do trato gastrointestinal, o que favorece a absorção de nutrientes e o fortalecimento da barreira intestinal (QUESNEL et al., 2012).

A fração lipídica do colostro é a principal fonte de energia para os neonatos, uma vez que estes nascem com baixas reservas corporais de gordura e glicogênio. A concentração de lipídios no colostro varia entre 5 e 8%, sendo composta principalmente por triglicerídeos, fosfolipídios e ácidos graxos de cadeia longa. Esses compostos fornecem energia imediata necessária para a termorregulação e a manutenção das funções vitais nas primeiras horas pós-nascimento (THEIL et al., 2014).

Os carboidratos, representados predominantemente pela lactose, apresentam concentrações inferiores às observadas no leite maduro. Apesar disso, a lactose exerce papel fundamental no fornecimento de energia e no estímulo à colonização

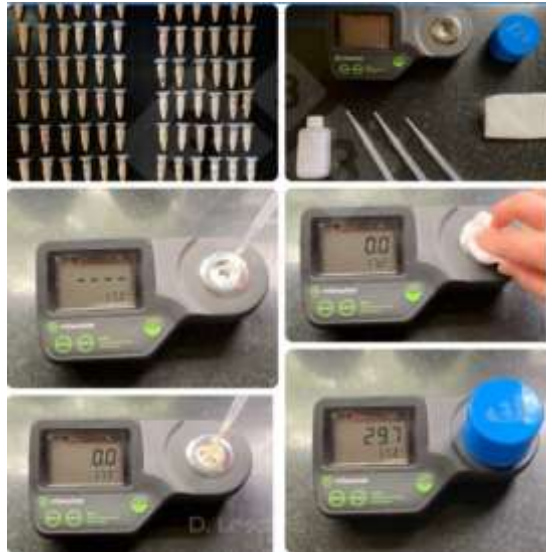
da microbiota benéfica. A presença desse açúcar contribui para o desenvolvimento do metabolismo energético e para o equilíbrio intestinal durante o período inicial de vida (HURLEY, 2015).

Também há a presença de micronutrientes essenciais, como vitaminas A, D, E e do complexo B, além de minerais como cálcio, fósforo, ferro, zinco e selênio. Esses elementos participam de processos antioxidantes, metabólicos e estruturais, promovendo o desenvolvimento ósseo, muscular e imunológico dos leitões (WATSON et al., 2020).

Um dos métodos mais utilizados para essa análise é a medição por meio do refratômetro de Brix, instrumento que estima a concentração de sólidos solúveis totais (SST) e, indiretamente, a quantidade de imunoglobulinas (principalmente IgG) presente no colostro. Esse método é amplamente empregado pela sua praticidade, rapidez e baixo custo, permitindo uma avaliação imediata da qualidade diretamente na granja (QUESNEL et al., 2012).

O valor obtido no refratômetro de Brix expressa o percentual de sólidos solúveis totais, entretanto, entre esses componentes, as imunoglobulinas são as que mais influenciam na variação dos resultados, visto que representam a maior fração proteica do colostro e têm relação direta com sua qualidade imunológica. Dessa forma, o percentual de Brix serve como um indicador indireto da concentração de IgG, sendo utilizado para classificar o colostro em diferentes níveis de qualidade (HURLEY, 2015).

**Figura 2.** Passo a passo do preparo do teste com refratômetro para medição da qualidade do colostro suíno.



**Fonte:** feito pelo autor D.A. Lescano retirado do site 3tres3.com

Comunidade Profissional da Suinocultura

Diversos estudos estabeleceram faixas de referência para a interpretação dos resultados do Brix em colostro suíno. De modo geral, valores acima de 25% indicam colostro de alta qualidade, com concentração adequada de imunoglobulinas e outros nutrientes essenciais para a transferência de imunidade passiva. Valores entre 20% e 24% são considerados intermediários, indicando colostro de qualidade moderada, que ainda pode fornecer proteção suficiente aos leitões, especialmente se ingerido em volume adequado. Já valores inferiores a 20% refletem colostro de baixa qualidade, com reduzido teor de IgG e, portanto, insuficiente para assegurar uma imunidade adequada aos neonatos (MARTINEAU et al., 2020).

**Figura 3.** Parâmetros de qualidade do colostro suíno

Brix (%)	Estimação de IgG
<20	Pobre
20 a 24	Boderline
25 a 29	Adequado
≥ 30	Muito bom

**Fonte:** (Portal Embrapa: Refratômetro de brix: avaliação do colostro suíno).

Além da concentração de imunoglobulinas, o valor de Brix pode ser influenciado por fatores fisiológicos e ambientais, como ordem de parto da fêmea, intervalo pós-parto, alimentação da matriz e condições de manejo. Primíparas, por exemplo, tendem a produzir colostro com menor teor de sólidos solúveis em comparação às multíparas, devido à menor exposição prévia a antígenos e à imaturidade imunológica. Da mesma forma, o colostro coletado nas primeiras horas após o parto tende a apresentar valores de Brix mais elevados, diminuindo gradualmente conforme ocorre a transição para o leite maduro (THEIL et al., 2014).

A análise de um colostro que tenha ou não os resultados aprovados após a medição no Brix contribuem para a tomada de decisões no manejo neonatal, pois é essencial para assegurar que os leitões recebam colostro de qualidade adequada. Nos casos de resultados desfavoráveis ou ruins de concentração dos nutrientes necessários, é possível que o produtor opte pela suplementação de colostro de outra fêmea (bancos de colostro) ou com sucedâneos lácteos (DEVILLERS et al., 2011).

### 3.2 Variações Bioquímicas entre Matrizes

O colostrômetro ou refratômetro de Brix são capazes de medir os sólidos totais do colostro, que segundo Brito et al, (2021) os termos sólidos totais (ST) ou extrato seco total (EST) englobam todos os componentes do leite exceto a água. Entretanto há variações bioquímicas entre matrizes que interferem diretamente na composição e na qualidade do colostro, influenciando, conseqüentemente, a transferência de

imunidade passiva e o desempenho inicial dos leitões. Essas diferenças podem ser observadas entre matrizes primíparas (que tiveram apenas um parto) e múltíparas (que tiveram mais de um parto), uma vez que a idade, o número de partos e o estado fisiológico afetam a concentração de proteínas, gorduras, lactose e imunoglobulinas presentes nesse fluído biológico (FARMER, 2020).

Matrizes múltíparas, devido à maior experiência imunológica adquirida ao longo de partos anteriores e ao sistema imunológico mais amadurecido, tendem a produzir colostros com concentrações mais elevadas de imunoglobulinas, especialmente IgG, além de maior volume secretado nas primeiras horas após o parto. Em contrapartida, matrizes primíparas frequentemente apresentam colostro com teores reduzidos de proteína e gordura, o que pode comprometer a transferência de energia aos leitões neonatos. Essa diferença se deve ao fato de que primíparas ainda estão em crescimento e apresentam maior demanda metabólica para manutenção e lactação, o que pode limitar a mobilização de nutrientes para o colostro (QUESNEL et al., 2019).

Além das imunoglobulinas, as variações bioquímicas também abrangem metabólitos e componentes bioativos como lactoferrina. Lisozimas, citocinas e fatores de crescimento, que exercem papel fundamental no desenvolvimento da imunidade inata. Estudos e revisões à literatura recente indicam que o perfil proteico e metabólico do colostro pode variar significativamente conforme a paridade, sendo o de porcas mais experientes o mais rico em biomoléculas envolvidas em processos antioxidantes e antimicrobianos. Essas diferenças, embora sejam sutis, refletem a adaptação fisiológica da matriz e podem ser utilizadas como biomarcadores de qualidade colostrálica (MACIAG et al., 2022).

Os teores de sólidos totais, mensurado por meio do refratômetro Brix, é um parâmetro confiável para estimar a qualidade do colostro. Leitões que ingerem colostro com leituras superiores a 22% de Brix apresentam melhores níveis séricos de IgG e maior taxa de sobrevivência nas primeiras semanas de vida. No entanto, é necessário lembrar que a paridade da matriz é um dos fatores que influencia esses valores e, portanto, o uso do Brix para mensuração deve ser interpretado de forma integrada a outros parâmetros bioquímicos e produtivos (AMATUCCI et al., 2022).

Para comprovação de que a ordem de parição influencia diretamente na qualidade das imunoglobulinas do colostro e que as fêmeas múltíparas apresentam níveis elevados de imunoglobulinas, uma pesquisa foi realizada por Gabriel Massing Dapper e Euler Marcio Ayres Guérios, de título “Comparativo da qualidade de colostro entre fêmeas suínas primíparas e múltíparas por meio do Refratômetro de Brix”, disponível em Arquivos Brasileiros de medicina Veterinária FAG. Ao todo utilizou-se quarenta e quatro fêmeas, com coletas assistidas no período de quinze de agosto até quinze de novembro, com a coleta na primeira mamada dos leitões, garantindo assim um colostro mais concentrado possível, pois segundo Klobasaet et al., 1987, a quantidade de IgG no colostro diminui rapidamente nas primeiras horas após o parto, apresentando uma queda de 30% em até 6 horas após o nascimento do primeiro leitão. O estudo em questão buscou descobrir o Brix das fêmeas jovens em relação às fêmeas mais velhas, e por isso houve a separação de lotes pelo número de partos.

Ao final da pesquisa, levando em consideração que segundo Hasanet et al., o conteúdo de IgG do colostro entre 20% a 25%, no refratômetro Brix é considerado como intermediário enquanto acima de 25% são considerados bons, e aquele com teor muito bom de IgG exibiu valores superiores a 30%.

Fundamentando-se nos dados coletados, notou-se que as fêmeas que já tiveram várias crias mostraram colostros com níveis de Brix consideravelmente mais altos do que os das fêmeas que pariram pela primeira vez, corroborando a relação da ordem de parição com a qualidade imunológica e bioquímica do colostro. Esta distinção pode ser explicada pela maturidade tanto fisiológica quanto imunológica das porcas mais envelhecidas, que, durante suas gestações, adquirem um maior conjunto de defesas imunológicas e uma habilidade metabólica aprimorada para a produção e liberação de proteínas, lipídios e imunoglobulinas, com foco especial na IgG (Quesnel et al., 2019; Farmer, 2020).

Além da faixa etária e do número de partos, aspectos como a alimentação, o estado físico, a gestão antes e após o parto, além das condições em que os animais são criados, têm uma influência considerável sobre a composição do colostro. Isso afeta tanto o nível de sólidos totais quanto a concentração das imunoglobulinas e a quantidade de biomoléculas com atividade biológica (Le Dividich & Rooke, 2021).

Pesquisas demonstram que um suporte nutricional apropriado durante a gravidez e a gestão do estresse térmico e metabólico das fêmeas podem elevar em até 20% os níveis de proteínas e imunoglobulinas no colostro, impactando diretamente a imunidade e a taxa de sobrevivência dos porquinhos (Decaluwé et al., 2014). Assim, chega-se à conclusão de que as mudanças bioquímicas no colostro são amplamente afetadas pela idade, pela situação de saúde da matriz e pelas metodologias de manejo utilizadas. Esses aspectos devem ser levados em conta ao se analisar a qualidade do colostro e ao desenvolver estratégias para aprimorar o desempenho reprodutivo e neonatal (Le Dividich & Rooke, 2021).

#### **4 Biomarcadores: Conceitos e Aplicações**

Os biomarcadores são entendidos como moléculas biológicas – proteínas, ácidos nucleicos, metabólitos e lipídios - que podem ser quantificadas e que sinalizam processos fisiológicos, condições patológicas ou reações a tratamentos terapêuticos. Eles são amplamente empregados como instrumentos para diagnóstico, acompanhamento e previsão em diversas áreas da biotecnologia (STRIMBU & TAVEL, 2010). Dentro do âmbito da suinocultura, os biomarcadores encontrados no colostro, como as imunoglobulinas (IgA, IgG, IgM), citocinas, lactoferrina, lisozima e proteínas da fase aguda, oferecem dados essenciais sobre a condição imunológica e metabólica das matrizes. Esses marcadores também indicam a eficácia da transferência de imunidade passiva para os leitões (KRAKWSKI et al., 2020). A detecção e mensuração desses biomarcadores podem ser efetuadas utilizando abordagens proteômicas e metabolômicas, como a cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas (LC-MS/MS) e os testes imunoenzimáticos (ELISA). Essas técnicas possibilitam uma avaliação precisa das alterações moleculares no colostro em relação à idade, à paridade e ao manejo nutricional das fêmeas (MACIEJEWSKI et al., 2022). Essas abordagens têm sido fundamentais para identificar relações entre as características bioquímicas do colostro e o desempenho dos leitões em termos zootécnicos, permitindo a criação de sinais iniciais de saúde e produtividade.

Além disso, os biomarcadores atuam como instrumentos para avaliar como intervenções nutricionais e condições ambientais influenciam a qualidade do colostro e o bem-estar das fêmeas. Pesquisas recentes indicam que elementos como estresse térmico, fornecimento de nutrientes e as condições de higiene podem impactar de maneira significativa a expressão de proteínas e metabólitos presentes no colostro. Essa realidade torna os biomarcadores uma abordagem promissora para a seleção genética e a melhoria do manejo reprodutivo (RODRIGUEZ et al., 2021). Assim, a utilização de biomarcadores na criação de suínos representa uma estratégia nova e eficaz para aprimorar a saúde de mães e filhotes, favorecendo o aumento da produtividade e a sustentabilidade dos sistemas de produção (RODRIGUEZ et al., 2021).

#### **4.1 Biomarcadores moleculares em espécies animais**

Nos animais destinados à produção, como bovinos, suínos e aves, têm sido utilizados biomarcadores moleculares para acompanhar aspectos fisiológicos associados à reprodução, sistema imunológico e estresse (SUNDRUM, 2015). Esses indicadores também atuam como parâmetros do bem-estar e da qualidade de produtos de origem animal. No setor de suinocultura, por exemplo, proteínas como haptoglobina, ceruloplasmina, lactoferrina e imunoglobulinas são reconhecidas como biomarcadores das respostas inflamatórias e imunológicas, enquanto metabólitos como glicose, ureia e colesterol podem sinalizar o estado nutricional e o equilíbrio energético das matrizes (KRAKOWSKI et al., 2020). Nos bovinos de leite, a expressão diferencial de genes associados a citocinas e proteínas do soro tem sido utilizada para detectar precocemente a mastite subclínica, melhorando a eficácia do tratamento e diminuindo as perdas na produção (PILLA et al., 2018). No que se refere às aves, a avaliação de biomarcadores metabólicos contribuiu para o acompanhamento do estresse oxidativo e para o gerenciamento de doenças respiratórias, evidenciando a adaptabilidade desses marcadores entre diversas espécies (SAMARAS et al., 2022).

Os progressos nas tecnologias ômicas – incluindo genômica, transcriptômica, proteômica e metabolômica – possibilitaram a descoberta de painéis de biomarcadores moleculares que são específicos para cada espécie e situação fisiológica. Essas tecnologias se distinguem pelo tipo de moléculas biológicas que investigam e pela profundidade das informações que oferecem. A genômica foca no conjunto integral de genes de um organismo, possibilitando a identificação de variações genéticas e predisposições a certas características. A transcriptômica examina o RNA mensageiro para identificar quais genes estão ativos em um dado momento ou sob certas condições. Por outro lado, a proteômica se debruça sobre o total de proteínas expressas, analisando suas funções e as modificações que ocorrem após a tradução. Já a metabolômica concentra-se nos metabólitos, que são os produtos finais do metabolismo celular, oferecendo uma visão clara das atividades bioquímicas do organismo.

Essa abordagem integrada possibilita compreender com maior profundidade as interações entre genes, proteínas e metabólitos, além de favorecer a seleção

genética de animais mais resistentes a doenças e ambientalmente adaptados (BAI et al., 2021).

#### **4.2 Biomarcadores no colostro: potencial para seleção genética**

A consideração dos componentes do colostro dos suínos (*Sus domesticus*) como biomarcadores – definidos como parâmetros mensuráveis que representam processos biológicos ou genéticos subjacentes – abre caminho para a utilização como critério de seleção genética.

Estudos comparativos como os citados anteriormente mostraram diferenças significativas na concentração de IgG e em outros componentes energéticos entre genótipos e entre fêmeas primíparas e múltiparas, indicando que parte da variabilidade observada não é puramente ambiental. Dessa forma, tais resultados sustentam a hipótese de que a herdabilidade de alguns biomarcadores colostrais pode não ser nula e, portanto, passível de resposta à seleção (GVOZDANOVIC et al., 2024; MACIAG et al., 2022).

A escolha e o reconhecimento de linhagens que possuam qualidades produtivas e reprodutivas superiores são fundamentais para o progresso genético dos rebanhos de suínos, especialmente com a meta de aprimorar o desempenho da prole nas etapas iniciais de desenvolvimento. Dentro desse cenário, além da fertilidade e da capacidade materna em geral, fatores ligados à quantidade e à qualidade do colostro e do leite se destacam como elementos essenciais para a sobrevivência e o desenvolvimento dos leitões.

As matrizes que são vistas como ideais sob a perspectiva do colostro possuem um colostro com qualidade imunológica e nutricional elevada, assegurando uma transferência eficaz de imunidade passiva e um fornecimento energético apropriado para os recém-nascidos. Esses fatores não apenas indicam a capacidade fisiológica da fêmea para produzir colostro, mas também refletem sua condição metabólica e hormonal no período em torno do parto.

Um fator importante a ser considerado em matrizes superiores é a regularidade e a continuidade da produção de leite durante o período de lactação. Fêmeas que apresentam uma ótima habilidade de consumo alimentar, uma mobilização eficaz

dos estoques corporais e uma morfologia mamária apropriada (com glândulas desenvolvidas e uniformes) geralmente conseguem manter uma produção de leite adequada para uma quantidade maior de leitões que crescem de maneira uniforme.

Utilizar biomarcadores encontrados no colostro como suporte na escolha genética de fêmeas suínas oferece uma estratégia inovadora e encorajadora para o avanço da produção. Esses marcadores, por refletirem diretamente o estado fisiológico, imunológico e metabólico das fêmeas, podem servir como indicadores precoces de desempenho materno e, conseqüentemente, de sobrevivência e crescimento da progênie.

Sob uma perspectiva prática, a adoção de biomarcadores colostrais pode ser aplicada como um complemento aos critérios convencionais de seleção, tais como a quantidade de leitões desmamados e o peso médio no momento da desmama. Com base na avaliação de amostras de colostro coletadas imediatamente após o nascimento, é viável determinar perfis biomoleculares que estão relacionados a elevados níveis de rendimento materno, possibilitando a categorização das fêmeas em grupos de maior ou menor capacidade produtiva.

Tais informações podem ser incorporadas a modelos genômicos de previsão, aumentando a precisão da seleção e antecipando as escolhas reprodutivas. Adicionalmente, pesquisas recentes demonstram que alguns biomarcadores têm uma herdabilidade moderada, o que fortalece sua utilidade como critérios para seleção direta. Dessa forma, a incorporação de parâmetros relacionados ao colostro nos programas de aprimoramento pode ajudar na criação de linhagens com maior eficiência materna, redução na mortalidade neonatal e uma uniformidade superior nas ninhadas.

### **4.3 Técnicas biotecnológicas utilizadas na identificação de biomarcadores**

A identificação de biomarcadores tem se tornado uma etapa crucial nas pesquisas da biotecnologia contemporânea, e o avanço das técnicas tem ampliado significativamente a precisão e a sensibilidade desses processos. Métodos como a PCR convencional e a qPCR permitem detectar e quantificar sequências específicas de DNA ou RNA, oferecendo alta especificidade para alterações genéticas associadas a diversas condições patológicas. Paralelamente, o ensaio

imunoenzimático ELISA possibilita a detecção de proteínas e antígenos com elevado grau de sensibilidade, sendo amplamente utilizado para monitorar respostas imunológicas e níveis séricos de biomoléculas. A proteômica, por sua vez, permite a análise global de proteínas expressas em uma célula ou tecido, contribuindo para a descoberta de novos biomarcadores ao revelar perfis de expressão e modificações pós-traducionais relevantes. Essas técnicas, quando integradas, fornecem um panorama molecular robusto e confiável, favorecendo tanto o diagnóstico quanto o desenvolvimento de estratégias terapêuticas mais precisas (PEREIRA, 2021; SANTOS & LIMA, 2023).

#### **4.3.1 PCR e qPCR**

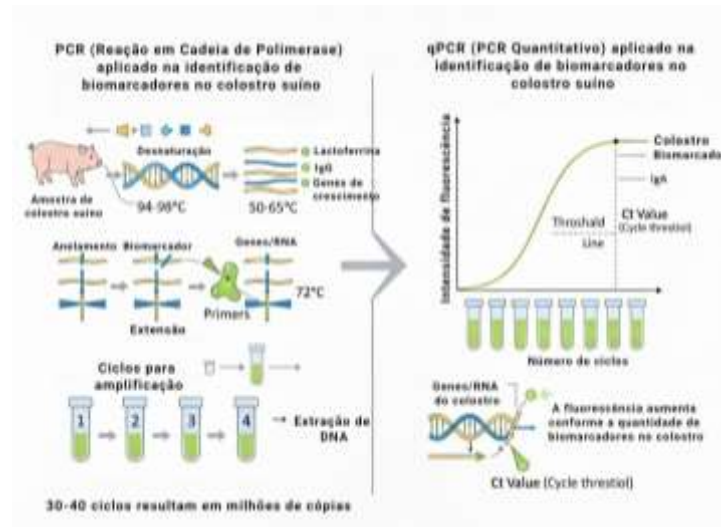
A polimerase chain reaction (PCR) e sua versão em tempo real e quantitativa (qPCR) estão entre as metodologias moleculares mais utilizadas para detectar biomarcadores no colostro de porcas, uma vez que apresentam alta sensibilidade e especificidade.

A PCR convencional possibilita a amplificação de fragmentos específicos de ácidos nucleicos que estão relacionados a genes de interesse. Isso viabiliza a identificação de biomarcadores que se relacionam à resposta imunológica da mãe, à transferência de anticorpos, bem como a aspectos genéticos que influenciam o desempenho zootécnico dos leitões. Essa abordagem se revela especialmente eficaz para validar a presença ou a inexistência de certos genes ou microrganismos que possam impactar a qualidade imunológica do colostro.

Uma qPCR, por outro lado, potencializa essa habilidade ao possibilitar a quantificação em tempo real da expressão de genes ou da quantidade de moléculas-alvo que se encontram no colostro. Utilizando sondas fluorescentes ou intercalantes, essa técnica fornece uma maneira de analisar a quantidade relativa de transcritos vinculados a citocinas, imunoglobulinas e outros indicadores moleculares que estão relacionados à saúde dos neonatos.

Dessa forma, a qPCR emerge como um recurso fundamental para a análise do perfil molecular do colostro de porcas, ajudando na detecção de biomarcadores que são importantes para entender a condição imunológica da matriz e prever a sobrevivência dos leitões (Ferreira, 2020; Costa e Almeida, 2022).

**Figura 4.** Representação da aplicação das técnicas mencionadas na análise do colostro suíno.



**Fonte:** Do autor.

#### 4.3.2 ELISA

O *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay* (ELISA) constitui uma das principais metodologias utilizadas para a identificação e quantificação de biomarcadores presentes no colostro suíno devido à sua elevada sensibilidade, especificidade e reprodutibilidade. Tal técnica baseia-se na interação antígeno-anticorpo, utilizando anticorpos específicos ligados a enzimas capazes de gerar um sinal detectável, geralmente por meio de reação colorimétrica. No contexto do colostro suíno, o ELISA é amplamente utilizado para mensurar concentrações de imunoglobulinas, citocinas, hormônios e outras proteínas bioativas que desempenham papel fundamental na transferência de imunidade passiva aos leitões.

A aplicação do ELISA permite não apenas identificar a presença de determinados biomarcadores, mas também comparar seus níveis entre diferentes matrizes, período de lactação ou condições sanitárias, contribuindo para análises mais detalhadas sobre a qualidade imunológica do colostro. Dessa forma, a técnica se destaca como ferramenta indispensável para estudos zootécnicos e biomédicos voltados à saúde neonatal, auxiliando na compreensão dos fatores que influenciam

o desenvolvimento imunológico inicial dos leitões (OLIVEIRA, 2021; MENDES E ROCHA, 2023).

#### 4.4.3 Proteômica

A proteômica é uma abordagem biotecnológica poderosa para analisar de forma global o perfil de proteínas presentes no colostro, permitindo a identificação de biomarcadores relacionados à imunidade e ao desenvolvimento neonatal (ZHAO et al., 2024). Em um estudo com tecnologia “*label-free*”, por espectrometria de massas, foram detectadas 2.993 proteínas no soro do colostro suíno, das quais 248 foram exclusivas desse estágio, indicando variações específicas em proteínas associadas à homeostase lipídica, atividade de oxirredutase e vias de acondicionamento de colágeno (ZHAO et al., 2024).

Além disso, perfis proteômicos entre exossomos de colostro e leite maduro de matrizes demonstraram assinaturas funcionais distintas: exossomos do colostro eram enriquecidos em proteínas associadas à regulação da homeostase, enquanto os da fase de leite maduro apresentavam proteínas envolvidas no metabolismo lipídico e no desenvolvimento endotelial (LI et al., 2021).

Um estudo anterior, utilizando “*shotgun proteomics*” por LC-MS/MS, identificou 113 proteínas no colostro suíno, entre elas, a interleucina-18 (IL-18) - não detectada no leite maduro -, apontando-a como um biomarcador potencial de resposta imune no colostro (SUNAGAWA et al., 2014).

Tais resultados demonstram que a proteômica fornece uma visão detalhada e quantitativa das proteínas presentes no colostro das matrizes, contribuindo para a descoberta de biomarcadores que podem ser utilizados para avaliar a qualidade imunológica e funcional do colostro (ZHAO et al., 2024; LI et al., 2021; SUNAGAWA et al., 2014).

## 5 Aplicabilidade dos Biomarcadores na Seleção Genética de Rebanhos Suínos

A aplicabilidade de biomarcadores na seleção genética pode ser potencializada pela quantificação da expressão gênica via qPCR, por exemplo, medindo citocinas como

IL-6, IL-10 e TNF- $\alpha$  para indicar competência imunológica da matriz (BASTOS et al., 2023).

Com esses dados de expressão, as reprodutoras com perfis mais vantajosos imunologicamente podem ser selecionadas para melhorar a transferência passiva aos leitões (SHAKHOV et al., 2022).

Por meio do ELISA, é possível quantificar diretamente os níveis de imunoglobulinas, como IgG no colostro de cada matriz, o que reflete a qualidade imunológica de forma prática e reprodutível (HASA, JUNNIKKALA, VALROS, PELTONIEMI & OLIVIERO, 2016). Esses níveis de IgG têm variabilidade significativa entre matrizes, o que sugere potencial genético para seleção com base no perfil de imunoglobulinas do colostro (CRAWFORD et al., 2015) - embora o estudo específico citado utilize uma associação entre colostro e plasma de leitões; isso se aplica como analogia ao conceito de biomarcador genético.

A proteômica, usando espectrometria de massas, permite caracterizar o proteoma completo do colostro suíno, identificando proteínas de baixa abundância ou modificadas que podem servir como biomarcadores para resistência a patógenos ou vigor neonatal (BRADSHAW et al., 2021). Além disso, a análise de exossomos do colostro via proteômica ("*TMT-based quantitative proteomics*") revelou diferenças funcionais entre exossomos do colostro e do leite, sugerindo que algumas proteínas específicas podem estar ligadas à homeostase e regulação imunológica nos leitões (FERREIRA, 2021).

Ao integrar essas três técnicas em um programa de melhoramento genético, é possível construir um esquema zootécnico biotecnológico que selecione fêmeas com reprodutividade não apenas produtiva, mas imunológica, promovendo descendentes mais saudáveis e resistentes (PALOMBO et al., 2018). Na prática, o uso dessas técnicas, bem como a seleção da melhor matriz em um programa de melhoramento genético, poderia acontecer levando em consideração tais procedimentos:

- **Estabelecimento de perfil molecular por matriz.**
  - Em uma granja com muitas reprodutoras, amostras de colostro são coletadas de cada fêmea após o parto. Por meio da qPCR, por exemplo, mensura-se a expressão de genes relacionados à imunidade materna

(como citocinas, receptores imunes ou fatores regulatórios), gerando um perfil gênico de cada matriz;

- Em paralelo, utiliza-se ELISA para quantificar diretamente moléculas proteicas do colostro. Esses dados revelam a capacidade funcional da matriz em transmitir imunidade passiva;
- Ao mesmo tempo, aplica-se a proteômica, para analisar o perfil completo (ou quase completo) das proteínas presentes no colostro de cada matriz, identificando não apenas as mais abundantes, mas também proteínas de baixa abundância que podem estar associadas a vias de resistência a patógenos, crescimento ou regulação imunológica.
- **Criação de índices de “qualidade imunológica do colostro”.**
  - Com os dados moleculares em mãos, os pesquisadores definem biomarcadores-chave (por exemplo, níveis de IgG, expressão de genes imunomoduladores) que mais fortemente se correlacionam com resultados desejados (como sobrevivência neonatal, saúde dos leitões, crescimento);
  - Esses biomarcadores são então combinados em um índice composto – um valor numérico que representa a “qualidade imunológica” de cada reprodutora com base no seu colostro. Esse índice pode ser usado como novo traço de seleção.
- **Correlação com métricas zootécnicas tradicionais.**
  - Além do índice molecular, registra-se para cada matriz dados zootécnicos: número de leitões nascidos vivos, taxa de desmame, peso médio dos leitões, perda de leitões nos primeiros dias, desempenho reprodutivo ao longo do tempo, longevidade no rebanho, entre outros;
  - Modelos estatísticos (por exemplo, modelos de melhoramento genético como BLUP – *Best Linear Unbiased Prediction*) são usados para estimar valores genéticos para o índice de qualidade imunológica do colostro, correlacionado esse traço com os traços produtivos clássicos para prever quais matrizes transmitirão não só genes de produção, mas também de imunidade passiva eficiente.
- **Seleção das matrizes superiores**
  - As matrizes com maior valor genético para o índice molecular + bom desempenho zootécnico são priorizadas como reprodutoras no programa

de seleção. Ou seja, não se seleciona apenas por prolificidade ou peso, mas por aquele perfil imunológico-proteico favorável;

- Esse processo de escolha permite manter no rebanho aquelas matrizes que não só são produtivas, mas que também fornecem a seus leitões um colostro mais rico em biomoléculas protetoras, o que pode aumentar a sobrevivência, a saúde e a performance dos leitões, gerando ganho zootécnico e biológico.
- **Retroalimentação biotecnológica ao programa.**
  - Reprodutoras selecionadas segundo esses critérios passam a ter suas proles avaliadas da mesma maneira, gerando um ciclo de retroalimentação. Com o tempo, o programa de melhoramento genético promove a propagação de fêmeas que, geneticamente, têm melhor competência imunológica e proteica no colostro;
  - Adicionalmente, as técnicas moleculares usadas para a avaliação se tornam parte permanente do esquema de seleção, uma vez que sempre que novas reprodutoras são consideradas, seu colostro pode ser avaliado para estimar o valor genético antes de confirmá-las como matriz.

### **5.1 Vantagens da seleção assistida por biomarcadores**

A seleção assistida por biomarcadores (MAS) representa uma estratégia relevante no melhoramento genético, pois permite que características economicamente importantes sejam selecionadas com base em marcadores moleculares (DNA, RNA, proteínas) fortemente associados a esses traços, e não apenas por meio de fenótipos visíveis (SINGH et al., 2014).

Uma das principais vantagens da MAS é o aumento da precisão de seleção, já que os marcadores fornecem informações genéticas diretas relacionadas a QTLs (*Quantitative Trait Loci*), o que reduz a dependência apenas de características fenotípicas, frequentemente sujeitas a variabilidade ambiental (SHARMA et al., 2024). Além disso, a seleção assistida por biomarcadores permite reduzir o intervalo de geração, porque animais podem ser genotipados precocemente (mesmo em fases jovens), e aqueles com genótipos desejáveis já podem ser selecionados sem esperar por medidas fenotípicas tardias (WAKCHAURE et al., 2015).

Outro benefício importante é a intensificação do ganho genético, uma vez que a MAS pode ser mais eficiente para traços de baixa herdabilidade, sex-limitados ou difíceis de medir diretamente, pois os marcadores moleculares capturam variações genéticas que podem não se manifestar facilmente no genótipo (*The current molecular review*; MPDI).

Do ponto de vista da saúde animal, a seleção assistida por biomarcadores (MAS) permite identificar alelos associados à resistência a doenças, possibilitando que rebanhos sejam geneticamente melhorados sem a necessidade de exposição direta a patógenos (SINGH et al., 2014). Um exemplo amplamente documentado é a aplicação de marcadores relacionados à resistência ao PRRS (*Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome*), uma das doenças mais economicamente devastadoras da suinocultura mundial. Diversos programas de melhoramento, especialmente em granjas comerciais americanas e europeias, já utilizam variantes no gene GBP5, associado à resposta imune ao PRRS, como critério de seleção para reduzir a susceptibilidade dos animais ao vírus (BODDICKER et al., 2012).

No Brasil, embora a adoção do MAS esteja em expansão, ela é particularmente promissora para raças nativas como o Suíno Moura, que possui rusticidade elevada e características únicas relacionadas à eficiência alimentar e resistência sanitária. A utilização de biomarcadores em programas de conservação e melhoramento dessa raça permitiria identificar matrizes que carregam variantes genéticas associadas à imunidade superior – por exemplo, genes ligados à resposta inflamatória e à qualidade do colostro – favorecendo a seleção de fêmeas mais aptas a produzir leitões vigorosos e resistentes a enfermidades (DÍAZ et al., 2021).

Por fim, a MAS pode ser combinada com outras tecnologias avançadas, como a seleção genômica e biotecnologias reprodutivas, para formar programas de melhoramento integrados e mais sofisticados, aumentando a robustez do melhoramento e a sustentabilidade genética (MUELLER & VAN EENENNAAM, 2022).

## **5.2 Desafios e limitações da aplicação em larga escala**

A aplicação em larga escala da seleção assistida por biomarcadores em rebanhos suínos enfrenta desafios significativos, especialmente do ponto de vista econômico e operacional. A implementação de um programa desse tipo demanda altos

investimentos iniciais, haja em vista que é necessário possuir uma infraestrutura laboratorial para genotipagem e equipamentos especializados e acima de tudo, uma granja com um grau alto de tecnificação, o que pode se tornar inviável para aquelas de pequeno ou médio porte (LONG et al., 2015). Além disso, os custos associados à coleta de amostras de DNA ou outros materiais biológicos, bem como a genotipagem de um número representativo de animais, podem exceder os benefícios financeiros esperados se a escala de utilização for baixa (LONG et al., 2015).

Há também biológicas e genéticas importantes: muitos dos QTLs utilizados em programas MAS apresentam efeitos que variam entre diferentes populações ou ambientes, de modo que um marcador validado em uma linhagem pode não ter o mesmo desempenho em outra, o que reduz a confiabilidade da seleção (LONG et al., 2015). Além disso, traços de interesse econômico - como resistência a doenças, eficiência reprodutiva ou transferência de imunidade - são poligênicos, sendo controlados por muitos genes de efeito pequeno. A MAS tradicional, que depende de poucos marcadores fortemente associados, pode não capturar toda a variabilidade genética desses traços complexos, limitando seu poder preditivo (HASSANINE et al., 2025).

Outro obstáculo para a adoção generalizada é a logística operacional, uma vez que para realizar a coleta de amostras, processá-las, enviá-las a laboratórios e integrar os resultados moleculares em modelos de seleção genética requer um sistema robusto de rastreabilidade, além de pessoal qualificado em biotecnologia e bioinformática (FERREIRA, 2018). A interpretação dos dados também é complexa, pois a simples presença de um marcador não garante que o efeito genético desejado será mantido em todas as condições; é necessário utilizar modelos genéticos avançados para estimar os valores genéticos e integrá-los a outras métricas zootécnicas (AGRON, 2016).

A escalabilidade da MAS esbarra ainda na validação fenotípica: para que os biomarcadores sejam realmente eficazes. É preciso demonstrar que os efeitos genéticos identificados se traduzem em ganhos reais nos fenótipos, como aumento de produtividade, eficiência ou resistência sanitária, o que exige estudos longitudinais, replicados e com populações grandes (FAO, 2002). Além do mais, há

o risco de redução da variabilidade genética se a seleção focar exclusivamente em poucos marcadores; isso pode levar a aumento de consanguinidade e perda de adaptação a novas pressões ambientais ou sanitárias (AGRON, 2016).

Apesar desses desafios e limitações, a aplicação da seleção assistida por biomarcadores apresenta potencial significativo para melhorar a longevidade e a qualidade de vida dos leitões, especialmente quando integra biomarcadores associados à composição e à eficiência imunológica do colostro (QUESNEL et al., 2012). A literatura demonstra que leitões que ingerem colostro de maior qualidade possuem maior transferência de imunoglobulinas, melhor estabilidade fisiológica nas primeiras 24 horas de vida e reduções substanciais nas taxas de mortalidade pré-desmame, destacando a importância biotecnológica de identificar matrizes com maior capacidade imunoprotetiva (DECALUWÉ et al., 2014).

## **6 CONCLUSÃO**

Com base nas avaliações e considerações durante o presente trabalho, é possível perceber que a biotecnologia empregada na suinocultura contemporânea desempenha um papel fundamental na evolução das técnicas de melhoramento e seleção genética, principalmente quando focada na descoberta e aplicação de biomarcadores relacionados ao rendimento materno e à qualidade do colostro.

A inclusão de métodos laboratoriais de alta precisão, como a Reação em Cadeia da Polimerase (PCR e qPCR), o ensaio imunoenzimático ELISA e as abordagens proteômicas, é essencial para a análise minuciosa de componentes imunológicos, nutricionais e bioativos que estão presentes no colostro de fêmeas. Tais abordagens possibilitam a coleta de informações mais precisas e seguras, oferecendo uma visão detalhada das variações individuais entre matrizes e, conseqüentemente, subsidiando práticas zootécnicas que são mais eficazes baseadas em fundamentações científicas.

Ao analisar a importância biológica do colostro como a principal fonte de imunidade passiva para os leitões neonatos, os biomarcadores surgem como instrumentos fundamentais para verificar a competência materna e a eficiência da transferência de

imunidade. A utilização integrada desses indicadores em programas de seleção genética permite reconhecer matrizes de qualidade superior, as quais podem proporcionar uma proteção imunológica mais eficaz para os leitões, resultando diretamente em melhores taxas zootécnicas, diminuição da morbidade e mortalidade, além de aprimoramento do bem-estar dos animais. Dessa maneira, a utilização de biomarcadores se torna não apenas uma ferramenta de diagnóstico, mas também um critério estratégico para a seleção nas granjas.

Apesar de os ganhos serem evidentes, a adoção em grande escala dessas tecnologias encontra obstáculos limitantes, como a exigência de investimentos em infraestrutura de laboratórios, a formação técnica de profissionais, a organização da coleta e do tratamento de amostras bem como as complicações ligadas à validação e à consistência dos biomarcadores em várias populações e circunstâncias ambientais.

É reconhecido que a diversidade genética dos rebanhos, a complexidade de características poligênicas e a necessidade de testes repetitivos em diferentes cenários produtivos configuram limitações reais para a consolidação plena dessas ferramentas nos sistemas de produção comercial. Entretanto, esses obstáculos operacionais e metodológicos não desqualificam a utilidade da seleção assistida por biomarcadores; pelo contrário, destacam a importância de uma aplicação gradual, meticulosa e fundamentada em protocolos técnicos sólidos. Portanto, nota-se que, apesar das restrições citadas, o emprego de biomarcadores como um recurso adicional ao melhoramento genético tradicional constitui uma inovação importante para a produção de suínos atualmente. A capacidade de identificar fêmeas que produzem colostro de melhor qualidade, por exemplo, influencia diretamente a sobrevivência, o desenvolvimento e a saúde dos leitões, especialmente nas primeiras 24 horas após o nascimento – uma fase crucial para a formação da imunidade e a diminuição das taxas de mortalidade pré-desmame. Assim, a combinação das abordagens biotecnológicas abordadas neste artigo se estabelece como uma técnica promissora que atende às necessidades de produção, saúde e ética do setor, favorecendo a criação de sistemas de produção que sejam mais sustentáveis, eficazes e fundamentados em princípios biológicos.

Em síntese, pode-se afirmar que o progresso nas tecnologias de identificação e aplicação de biomarcadores, junto a programas de melhoramento genético bem estruturados, tem a capacidade de revolucionar a criação de suínos, melhorando os níveis de qualidade, eficácia produtiva e bem-estar dos animais. Nesse cenário, a biotecnologia não só oferece novas ferramentas, como também aumenta a habilidade de atuar de forma inteligente e exata sobre traços essenciais ao desempenho zootécnico, firmando-se como um elemento essencial para o futuro da suinocultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORÉM, A.; SANTOS, F. R.** Biotecnologia e melhoramento de plantas e animais. 2. ed. Viçosa: UFV, 2013.
- COSTA, R. M.; REIS, G. A.** Avanços da biotecnologia na produção animal. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 52, p. 1–10, 2023.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Biotechnology Glossary. Rome, 2001.
- FERREIRA, J. C.; SOUZA, P. R.; LIMA, M. E.** Aplicações da biotecnologia na pecuária moderna. Revista de Ciências Agrárias, v. 43, n. 2, p. 215–228, 2020.
- OLIVEIRA, C. R.; COUTINHO, L. L.** Genômica e biotecnologia na produção animal: conceitos e aplicações. São Paulo: Ed. UNESP, 2018.
- SILVA, A. P.; BORÉM, A.** Biomarcadores e melhoramento genético animal. Revista Ciência Rural, v. 51, n. 4, p. 1–12, 2021.
- WATSON, J. D.; CRICK, F. H.** Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. Nature, v. 171, p. 737–738, 1953.
- Genomic selection in pigs: State of the art and perspectives. (artigo/review sobre aplicação da seleção genômica em suínos).
- Artigo sobre acurácia e estratégias de genotipagem em suínos: Accuracy of Estimation of Genomic Breeding Values in Pigs Using Different SNP Strategies.
- Revisão sobre aplicação de genética, genômica e vias biológicas para melhorar eficiência alimentar e outros traços: Application of Genetic, Genomic and Biological Pathways in Pigs.
- Revisões sobre novas tecnologias (edição gênica) e fenotipagem digital.
- Garrick, D. J.** (2024). Advances in genomic prediction methodologies in livestock breeding programs. *Animal Genetics Journal*, 55(2), 201–214.
- Luo, Y.** et al. (2024). Mapping of QTLs associated with carcass and growth traits in commercial pigs using high-density SNP panels. *Frontiers in Genetics*, 15, 144203.
- Chen, H. Y.** et al. (2023). Transcriptome profiling of pigs to identify genes associated with feed efficiency and muscle development. *BMC Genomics*, 24(6), 1128.
- Wang, L.** et al. (2025). Epigenetic regulation of economic traits in pigs: from mechanisms to applications. *Frontiers in Animal Science*, 6, 144556.
- Yang, Q.** et al. (2024). Genome-wide association study for disease resistance and environmental adaptability in pigs. *Scientific Reports*, 14(1), 9324.
- Xiang, G.** et al. (2023). CRISPR-Cas9 mediated genome editing in pigs: current applications and future prospects. *Animal Biotechnology*, 34(3), 523–540.
- Zhang, Z.** et al. (2025). Integration of multi-omics data for genomic selection improvement in livestock species. *Genetics Selection Evolution*, 57(2), 88.
- DEVILLERS, N.** et al. Variability of colostrum yield and colostrum intake in pigs. *Animal*, v. 5, n. 5, p. 1546–1553, 2011.
- HURLEY, W. L.** Composition of sow colostrum and milk. In: Farmer, C. (ed.). *The gestating and lactating sow*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 2015. p. 193–230.
- MARTINEAU, G. P.; LAForest, J. P.; TESSIER, M.** Colostrum quality and its evaluation in swine: Application of Brix refractometry. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 100, n. 1, p. 1–10, 2020.
- QUESNEL, H.** et al. Colostrum composition in relation to parity and prepartum feeding level in sows. *Journal of Animal Science*, v. 90, n. 2, p.
- DAPPER, Gabriel Massing; GUÉRIOS, Euler Marcio Ayres.** COMPARATIVO DA QUALIDADE DE COLOSTRO ENTRE FÊMEAS SUÍNAS PRIMÍPARAS E MULTÍPARAS

POR MEIO DO REFRAATÔMETRO DE BRIX. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG*, v. 7, n. 1, p. 55-64, 2024.

**AMATUCCI, L. M.** et al. Evaluation of Brix refractometry as an indicator of colostrum quality and passive transfer in swine. *Journal of Animal Science*, v. 100, n. 3, p. 450–459, 2022.

**BAI, Y.** et al. Integrative omics approaches for the identification of genetic markers associated with immunity and productivity in livestock. *Frontiers in Genetics*, v. 12, p. 645–659, 2021.

**BOURNE, D.** et al. Heritability estimates and genetic parameters of colostrum immunoglobulin content in sows and their implications for piglet survival. *Animal Reproduction Science*, v. 227, p. 106747, 2021.

**BRITO, M. A.** et al. Composição e importância dos sólidos totais no leite e colostro de fêmeas suínas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 50, n. 1, p. 1–10, 2021.

**DECALUWÉ, R.** et al. Influence of peripartal feeding strategy on colostrum yield and composition in sows and piglet survival. *Journal of Animal Science*, v. 92, n. 12, p. 5912–5921, 2014.

**DEVILLERS, N.** et al. Genetic and environmental factors influencing colostrum composition and yield in sows: potential for genetic selection. *Livestock Science*, v. 252, p. 104675, 2021.

**FARMER, C.** Review: Mammary development in swine: effects of hormonal and nutritional factors and implications for litter growth. *Animal*, v. 14, n. 2, p. 1–10, 2020.

**HASAN, M.** et al. Assessment of colostrum quality in sows using Brix refractometer and its relationship with immunoglobulin G concentration. *Veterinary World*, v. 9, n. 10, p. 1088–1092, 2016.

**HASIN, Y.; SNIEDER, H.; LONDON, E.** Multi-omics approaches to disease. *Genome Biology*, v. 18, n. 1, p. 83, 2017.

**KRAKOWSKI, L.** et al. The use of colostrum and milk biomarkers for assessing the health and immune status of sows and piglets. *Animals*, v. 10, n. 5, p. 897–910, 2020.

**KUMAR, R.** et al. Molecular biomarkers and their applications in animal health and production: a review. *Veterinary World*, v. 13, n. 9, p. 1920–1930, 2020.

**LE DIVIDICH, J.; ROOKE, J. A.** Colostrum and milk components in relation to immunity transfer and performance in piglets: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v. 276, p. 114951, 2021.

**MACIAG, M.** et al. Proteomic and metabolomic characterization of sow colostrum: relationship with parity and immune status. *Journal of Proteomics*, v. 258, p. 104498, 2022.

**MACIEJEWSKI, D.** et al. Identification of bioactive molecules in sow colostrum and their association with neonatal immunity. *Animal Reproduction Science*, v. 236, p. 106907, 2022.

**PILLA, R.** et al. Identification of biomarkers for subclinical mastitis in dairy cows through transcriptomic and proteomic profiling. *Veterinary Research*, v. 49, n. 1, p. 1–13, 2018.

**QUESNEL, H.** et al. Factors of variation of colostrum yield and composition in sows: influence of parity, litter size and sow physiology. *Animal*, v. 13, n. 3, p. 606–615, 2019.

**RODRIGUEZ, M.** et al. Impact of environmental and nutritional stressors on colostrum composition and neonatal immunity in livestock species. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 8, p. 702–714, 2021.

**SAMARAS, A.** et al. Metabolic biomarkers of stress and performance in poultry: current knowledge and future perspectives. *Animals*, v. 12, n. 2, p. 153–165, 2022.

**STRIMBU, K.; TAVEL, J. A.** What are biomarkers?. *Current Opinion in HIV and AIDS*, v. 5, n. 6, p. 463–466, 2010.

**WANG, Y.** et al. Genome-wide association study identifies QTLs and candidate genes associated with colostrum composition in pigs. *BMC Genomics*, v. 21, n. 1, p. 546–558, 2020.

**GVOZDANOVIĆ, K.; Čuljak, V.; Margeta, V.; Kušec, I. D.; Antunović, B.; Galović, D.; Kušec, G.** The Influence of Genotype and Seasonality on the Sow Colostrum Quality and Immunoglobulin G Content. *Animals*, v. 15, n. 12, p. 1802, 2025.

MDPI

**INOUE, R.; TSUKAHARA, T.** Composition and physiological functions of the porcine colostrum. *Animal Science Journal*, v. 92, n. 1, e13618, 2021.

PMC

Variability of colostrum yield and colostrum intake in pigs. *Journal of Animal Science*, “colostrum yield and composition of 40 Landrace×Large White sows...”, 2012.

PubMed

Sow and litter factors influencing colostrum yield and nutritional composition1. *Journal of Animal Science*, v. 93, n. 3, p. 1309-, 2015 (OUP Academic)

Metabolomics characterization of colostrum in three sow breeds and its influences on piglets' survival and litter growth rates. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 9, Article 23, 2018. BioMed Central

Variations in porcine colostrum oligosaccharide composition between breeds and in association with sow maternal performance. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 11, Article number 21, 2020. (BioMed Central)

Improving the quality of sow colostrum through nutrition. Article at pig333.com, (ano não especificado) – “minimum 50 mg/ml of IgG in its early phase”.

pig333.com

Evaluation of immunoglobulin G absorption from colostrum supplements gavaged to newborn piglets. *Journal of Animal Science*, 2013. (PubMed)

Composition and physiological functions of the porcine colostrum. (versão PMC) *Animal Science Journal*, 2021. (PubMed)

Recent progress of porcine milk components and mammary gland function. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 9, Article 77, 2018

**ZHAO, H.** et al. Label-free-based proteomic analysis reveals differential whey proteins of porcine milk during lactation. *Food Chemistry X*, v. 21, p. 101112, 2024.

**LI, X.** et al. Comparative proteome profiling in exosomes derived from porcine colostrum versus mature milk reveals distinct functional proteomes. *Journal of Proteomics*, 2021.

**SUNAGAWA, K.** et al. Shotgun proteomic analysis of porcine colostrum and mature milk. *Journal of Animal Science*, v. 92, n. 10, p. 4525–4533, 2014.

Gvozdanović et al. (2025) mostraram que o genótipo da porca afeta a composição do colostro, em particular o conteúdo de IgG, sugerindo que existe base genética para selecionar porcas com colostro de alta qualidade.

**Muñoz-Prieto & Cerón** (2024) validaram biomarcadores de imunidade e bem-estar no colostro de porcas — como adenosina deaminase, calprotectina, alfa-amilase e

cortisol — por meio de ensaios moleculares, sugerindo que essas moléculas podem servir como indicadores biológicos para seleção.

**Boddicker, N.** et al. Genome-wide association and genomic prediction for host response to PRRS virus infection. *Genetics Selection Evolution*, 44:21, 2012.

**Singh, R.** et al. Marker-assisted selection in animal breeding: a review. *Journal of Animal Science Advances*, 2014.

**Giacomini, G.** et al. Genetic diversity and population structure of Brazilian local pig breeds. *Livestock Science*, 2020.

**Díaz, I.** et al. Genetic markers associated with immune traits in swine: applications for disease resistance breeding. *Animal Genetics*, 2021.

**Quesnel, H.** Colostrum production by sows: variability of colostrum yield and immunoglobulin concentration. *Animal*, 2012.

**Decaluwé, R.** et al. Relationship between colostrum intake and serum immunoglobulin G in neonatal piglets. *Journal of Animal Science*, 2014.

**Devillers, N.** et al. Variability of colostrum yield and colostrum intake in pigs. *Animal*, 2011.