

Status da contaminação bacteriana de sêmen suíno

Status of bacterial contamination in boar semen

Mariana Groke Marques^{1,2}, Janine de Camargo⁴, Jean Carlo Volpato Faccin², Ricardo Zanella^{2,3,4*}

¹Embrapa Suínos e Aves, Concórdia SC, Brasil

²IFC, programa de Pós-graduação em Produção e Sanidade animal, Concórdia, SC, Brasil

³Universidade de Passo Fundo, Escola de Ciências Agrárias Inovação e Negócios,
Programa de Pós-graduação em BioExperimentação. Passo Fundo, RS Brasil

⁴Universidade de Passo Fundo, Escola de Ciências Agrárias Inovação e Negócios,
Curso de Medicina Veterinária. Passo Fundo, RS Brasil

E-mail: ricardozanella@upf.br

Resumo

A contaminação bacteriana do sêmen suíno constitui um dos principais desafios sanitários e tecnológicos na produção suinícola, com impacto direto na qualidade das doses inseminantes e potencial influência sobre a eficiência reprodutiva. A presente revisão tem como objetivo caracterizar o status da contaminação bacteriana do sêmen suíno no Brasil, avaliando o perfil microbiológico, sua dinâmica ao longo do processamento e armazenamento, o e a resistência antimicrobiana e seus efeitos sobre parâmetros espermáticos.

Palavras-chave: inseminação artificial, suínos, qualidade espermática, contaminação bacteriana

Abstract

Bacterial contamination of boar semen represents one of the main sanitary and technological challenges in swine production, with a direct impact on the quality of insemination doses and potential influence on reproductive efficiency. This review aims to characterize the status of bacterial contamination in boar semen in Brazil, evaluating its dynamics throughout processing and storage, the microbiological profile, antimicrobial resistance, and its effects on sperm parameters.

Keywords: artificial insemination, swine, sperm quality, bacterial contamination

Introdução

A inseminação artificial (IA) em suínos representa uma das principais ferramentas para o progresso genético e produtivo da suinocultura moderna. No entanto, a eficiência dessa biotecnologia depende diretamente da qualidade do sêmen utilizado, sendo a contaminação bacteriana um dos principais fatores limitantes (Althouse and Lu 2005; Prieto-Martínez et al., 2014; Maes et al., 2008). No Brasil, estima-se que essa tecnologia seja empregada em mais de 90% do plantel de fêmeas em sistemas industriais, permitindo maior eficiência no melhoramento genético e ampliação do acesso a material genético superior (Viana et al., 2019).

As centrais de coleta e processamento de sêmen suíno desempenham um trabalho constante no controle e compreensão dos microrganismos presentes no sêmen suíno (Rocha et al., 2024). Durante o processo de coleta, processamento e armazenamento, o sêmen pode ser exposto a diferentes fontes de contaminação, incluindo o próprio trato reprodutivo do animal, o ambiente, equipamentos e manipuladores (Althouse et al., 2000; Maes et al., 2008; Schulze et al., 2015; Camargo et al., 2025). Um estudo recente evidenciou que falhas na higiene prepucial e no alojamento dos machos aumentam em até 2,6 vezes as chances de contaminação do sêmen *in natura*, enquanto a utilização de materiais não descartáveis e a manutenção deficitária dos sistemas de osmose reversa elevam drasticamente (em até 9,4 vezes) o risco de doses diluídas contaminadas. Esses resultados reforçam que o controle de pontos críticos (HACCP), aliado ao monitoramento constante da água e do ambiente, é indispensável para garantir a integridade das doses inseminantes (Rocha et al., 2024).

A presença de microrganismos não comensais pode comprometer a viabilidade espermática, reduzindo a motilidade, aumentando danos celulares e afetando diretamente a fertilidade (Althouse, 2008; Waberski et al., 2011; Sepúlveda et al., 2014). Consequentemente, a composição do microbioma seminal

de suínos pode contribuir diretamente para os índices reprodutivos encontrados (Zhang et al., 2020; McAnally et al., 2023; Ngo et al., 2023). Os microrganismos presentes no sêmen suíno constituem uma mistura de microbiota mucosal normal e patógenos oportunistas. Essas comunidades microbianas se originam tanto do próprio animal incluindo trato reprodutivo, pele, fezes e fluido prepucial quanto de fontes ambientais, como água, ração, instalações e ar (Morrell et al., 2024). Durante a ejaculação, microrganismos podem ser incorporados ao sêmen ao longo do trato reprodutivo, sendo, portanto, esperados mesmo em animais saudáveis. Em condições normais, bactérias comensais e oportunistas não causam prejuízos quando mantidas em níveis baixos, podendo inclusive estimular respostas imunológicas e estar associadas a bons índices de fertilidade (Ngo et al., 2023). No entanto, altos níveis de contaminação bacteriana, frequentemente de origem ambiental, estão envolvidos com uma redução da qualidade espermática principalmente quando presentes microrganismos multirresistentes. Após a coleta o sêmen suíno é normalmente armazenado sob refrigeração, em temperaturas entre 15 e 18°C, utilizando-se diluidores classificados conforme o tempo de conservação em curta, média e longa duração (Roca et al., 2006). Esses diluentes fornecem substratos energéticos, tamponantes e agentes protetores essenciais para a manutenção da viabilidade espermática além de agentes antimicrobianos.

Dessa forma, medidas rigorosas de higiene durante a coleta e o processamento do sêmen, aliadas ao monitoramento microbiológico rotineiro, são fundamentais para reduzir a contaminação e garantir a qualidade das doses inseminantes. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo descrever os principais microrganismos presentes no sêmen suíno produzido em centrais de coleta e processamento (CCPS) e avaliar seu impacto sobre os parâmetros de qualidade espermática no Brasil.

De onde vem a contaminação?

A contaminação bacteriana do ejaculado suíno é um fenômeno multifatorial e inerente ao processo de produção de sêmen em centrais de inseminação artificial. Diferentemente de outras secreções biológicas obtidas sob condições assépticas, o ejaculado suíno está naturalmente sujeito à incorporação de microrganismos provenientes de diferentes fontes, tanto endógenas quanto exógenas (Vargas et al., 2025). Do ponto de vista endógeno, a principal origem da contaminação está associada à microbiota do próprio animal. Durante a ejaculação, o sêmen percorre todo o trato reprodutivo masculino, podendo entrar em contato com microrganismos presentes na uretra distal, no prepúcio e no divertículo prepucial (Maes et al., 2008). Essa região é reconhecida como um importante reservatório bacteriano, contendo microrganismos oriundos da microbiota cutânea, intestinal e ambiental, frequentemente enriquecida por resíduos orgânicos como urina, fezes e secreções (Maes et al., 2008). Dessa forma, mesmo em animais clinicamente saudáveis e submetidos a protocolos de higiene, a presença de bactérias no ejaculado é esperada.

Além disso, microrganismos podem estar presentes em órgãos do trato reprodutivo, incluindo testículo, glândulas acessórias, epidídimo, ductos deferentes e uretra (Hou et al., 2013; McAnally et al., 2023). Em humanos a presença de microrganismos no tecido testicular (Alfano et al., 2018) e no sêmen (Weng et al., 2014) demonstraram que a microbiota reprodutiva possui um efeito direto na fertilidade. Esses microrganismos compõem uma microbiota residente ou transitória, que pode ser liberada juntamente com o plasma seminal durante a ejaculação, em equilíbrio, essa microbiota não necessariamente compromete a qualidade espermática (Hou et al., 2013; McAnally et al., 2023). No entanto, a contaminação exógena desempenha papel determinante no aumento da carga bacteriana do ejaculado. Durante a coleta, o sêmen pode ser exposto a diversas fontes ambientais, incluindo superfícies, equipamentos, recipientes de coleta, água utilizada na higienização e manipulação humana. Falhas nos protocolos de biossegurança, como higienização inadequada do prepúcio, uso de materiais não estéreis ou manipulação incorreta, podem amplificar significativamente a contaminação (McAnally et al., 2023).

Adicionalmente, o ambiente das centrais de coleta de sêmen constitui um fator crítico, uma vez que partículas em suspensão, poeira, aerossóis e biofilmes presentes em instalações e equipamentos podem atuar como fontes de contaminação. A própria rotina de coleta e processamento, que envolve múltiplas etapas e manipulações, contribui também para a introdução e disseminação bacteriana ao longo do fluxo produtivo (Roca et al., 2006; McAnally et al., 2023).

A eficiência qualitativa em centrais de processamento de sêmen suíno no Brasil é multifatorial, sendo a contaminação bacteriana o ponto de maior vulnerabilidade (Rocha et al., 2024). Após a coleta, o sêmen é processado, incluindo avaliação, diluição e armazenamento, e todas estas etapas podem interferir na dinâmica da contaminação. Embora os diluentes comerciais contenham antimicrobianos com o objetivo de controlar a proliferação bacteriana, esses compostos apresentam efeito bacteriostático, reduzindo temporariamente a carga microbiana, mas não eliminando completamente os microrganismos. Como consequência, pode ocorrer seleção de bactérias mais adaptadas ou resistentes, que tendem a proliferar ao

longo do tempo de armazenamento (Roca et al., 2006; McAnally et al., 2023; Contreras et al., 2022).

Dessa forma, a contaminação do ejaculado suíno deve ser compreendida como o resultado da interação entre a microbiota endógena do animal e múltiplas fontes ambientais, modulada pelas condições de manejo, higiene, processamento e armazenamento. Esse cenário reforça que a presença de microrganismos no sêmen não pode ser completamente evitada, sendo fundamental a adoção de estratégias de controle baseadas na redução da carga bacteriana, no monitoramento microbiológico contínuo e na compreensão da composição da microbiota, e não apenas na sua quantificação.

Microrganismos e fertilidade

A presença de microrganismos no sêmen pode causar à deterioração progressiva da qualidade das doses inseminantes durante o período de armazenamento, sendo que os efeitos deletérios se tornam mais evidentes, geralmente a partir de 3 a 4 dias de armazenamento (Prieto-Martínez et al., 2014). Entre as principais alterações observadas destacam-se o aumento da aglutinação espermática, a elevação da frequência de anomalias acrossomais, modificações no pH e a redução da motilidade. A magnitude desses efeitos depende de fatores como a qualidade da água, da composição do diluente, embalagem de envase, gênero dos microrganismos, a carga bacteriana, e o tempo de armazenamento (Goldberg et al., 2017; Camargo et al., 2025).

O sêmen suíno com níveis de contaminação a partir de 10^3 bactérias/mL já apresenta comprometimento da qualidade espermática, tornando as doses potencialmente inadequadas para seu uso, consequentemente resultando na redução do número de leitões nascidos e nos índices de prenhez das granjas (Sá et al., 2014). Sá et al. (2014) demonstraram que amostras com contaminação de até 5×10^2 bactérias/mL não apresentaram prejuízos à qualidade espermática durante o armazenamento. No entanto, concentrações superiores a 5×10^3 bactérias/mL estiveram associadas à redução da motilidade espermática a partir de 72 horas de armazenamento, em comparação aos grupos com menor carga bacteriana. Além disso, a bacteriospermia também pode impactar negativamente a saúde reprodutiva das fêmeas inseminadas, sendo que concentrações de 5×10^4 bactérias/mL foram associadas à diminuição das taxas de concepção e de parição (Sá et al., 2014).

Em estudo conduzido no Brasil, foi observado que 99,1% dos ejaculados apresentavam contaminação bacteriana (Paschoal et al., 2021), evidenciando que essa é uma preocupação recorrente na suinocultura em nível global. Diversas espécies bacterianas têm sido identificadas no sêmen suíno, com destaque para isolados como *Escherichia coli*, *Burkholderia cepacia*, *Staphylococcus epidermidis*, *Serratia marcescens*, *Proteus* spp., *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* spp., *Klebsiella oxytoca*, *Providencia stuartii* e *Morganella morganii*. Batista et al. (2012), Bennemann et al. (2018a) e Dalmutt et al. (2020) demonstram um perfil microbiológico caracterizado também pela predominância de *Staphylococcus* spp., seguido por *E. coli* e *Pseudomonas* spp., além da presença recorrente de *Proteus* spp. e *Klebsiella* spp em amostras de sêmen coletadas em CCPS no Brasil.

Nos últimos anos, nosso grupo de pesquisa identificou 45 gêneros bacterianos em CCPS no sul do Brasil, com predominância de bactérias Gram-negativas (47,35%) através do sequenciamento da região 16S no sêmen de suínos. Nesse estudo foi verificado crescimento bacteriano em 91,33% das amostras de sêmen coletadas, reduzindo para 28,66% após a diluição, 15,33% após 24 horas e aumentando para 26% após 120 horas de armazenamento. Os gêneros mais frequentes foram *Staphylococcus* (24%) e *Corynebacterium* (17%) além da presença de gêneros relevantes como *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Proteus* e *Streptococcus*. A contagem bacteriana no sêmen puro apresentou média de 2,133 log(UFC+1)/mL, sendo superior à observada nas doses diluídas, enquanto o número médio de gêneros bacterianos foi de 1,32 no sêmen puro, reduzindo-se significativamente às 24 horas (0,067) e aumentando novamente às 120 horas, sugerindo crescimento seletivo de microrganismos mais adaptados ao ambiente de armazenamento.

Nos Estados Unidos, estudos de Althouse et al. (2005; 2008) evidenciaram elevada diversidade bacteriana, com destaque para *Serratia* spp., *Stenotrophomonas maltophilia*, *Achromobacter xylosoxidans*, além de *Enterococcus* spp. e *Pseudomonas* spp. Em Cuba, Maroto-Martín et al. (2010) observaram forte predominância de *Escherichia coli*, além de *Serratia* spp., *Proteus* spp. e *Enterobacter* spp., padrão semelhante ao descrito na Itália por Bresciani et al. (2014), onde *E. coli* foi o principal isolado.

Na Europa, observa-se elevada diversidade bacteriana. Na Espanha, Úbeda et al. (2013) identificaram *Serratia*, *Klebsiella* e *Providencia* como principais gêneros. Na Alemanha, Schulze et al. (2015) relataram ampla diversidade, incluindo *Enterobacter* spp., *Pseudomonas* spp. e *Achromobacter xylosoxidans*. Já na Polônia, Gączarzewicz et al. (2016) observaram altas frequências de *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp. e *Pseudomonas* spp. Estudos mais recentes na Eslováquia (Tvrdá et al., 2022) e na Romênia (Costinar et al., 2022) confirmam a predominância de *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus*

spp. e *Serratia* spp.

Na Ásia, estudo conduzido na Tailândia por Ngo et al. (2023) demonstrou elevada prevalência de *Staphylococcus* spp., presente em 100% das amostras, além de *Proteus* spp., *Micrococcus* spp. e *E. coli*, evidenciando grande diversidade microbiana.

De forma integrada, os dados indicam que, independentemente da localização geográfica, a microbiota do sêmen suíno é composta predominantemente por enterobactérias (como *E. coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Proteus*), cocos Gram-positivos (especialmente *Staphylococcus* e *Streptococcus*) e bactérias ambientais oportunistas (como *Pseudomonas* e *Burkholderia*). Esse padrão reforça a natureza multifatorial da contaminação seminal, envolvendo tanto fontes endógenas quanto exógenas, e evidencia a necessidade de estratégias integradas de controle sanitário nas centrais de inseminação (Tabela 1).

Tabela 1. Principais isolados e porcentagem de ocorrência de bactérias provenientes do ejaculado de reprodutores suínos relatados em diferentes países. SD: sêmen diluído; SP: sêmen puro (Faccin et al., 2023).

Autor	País	%	Espécies Isoladas
Althouse et al. (2005)	EUA	31,2% (SD)	<i>Enterococcus</i> spp. (20,5%); <i>S. maltophilia</i> (15,4%); <i>Serratia</i> spp. (10,3%); <i>A. xylosoxidans</i> (10,3%); <i>E. coli</i> (6,4%); <i>Pseudomonas</i> spp. (6,4%); <i>Klebsiella</i> spp. (3,8%); <i>Providencia</i> spp. (3,8%); <i>B. cepacia</i> (2,6%); <i>Enterobacter</i> spp. (2,6%); <i>Proteus</i> spp. (1,3%).
Althouse (2008a)	EUA	22,06% (SD)	<i>S. marcescens</i> (24,5%); <i>S. maltophilia</i> (9%); <i>A. xylosoxidans</i> (8,75%); <i>K. oxytoca</i> (8,75%); <i>Staphylococcus</i> spp. (5,25%); <i>Corynebacterium</i> sp. (3,75%); <i>Pseudomonas</i> spp. (3,25%); <i>Coccus</i> Gram positivos (2,75%); <i>Enterococcus</i> spp. (2%); <i>Bacillus</i> sp. (1,75%); <i>Acinetobacter</i> spp. (1,5%); <i>P. mirabilis</i> (1,25%); <i>R. picketti</i> (1%); <i>Enterobacter</i> spp. (0,75%); <i>S. liquefaciens</i> (0,75%); <i>Providencia</i> spp. (0,75%); <i>E. coli</i> (0,5%); <i>Aeromonas</i> spp. (0,5%); <i>B. cepacia</i> (0,25%); <i>C. meningosepticum</i> (0,25%); <i>K. rósea</i> (0,25%); <i>Micrococcus</i> sp. (0,25%); <i>M. morganii</i> (0,25%); Outras (20,5%).
Maroto e Martín et al. (2010)	Cuba	74,78% (SD)	<i>Escherichia coli</i> (79%); <i>Serratia</i> spp. (36%); <i>Proteus</i> spp. (36%); <i>Enterobacter</i> spp. (29%); <i>Klebsiella</i> spp. (14%); <i>Staphylococcus</i> spp. (14%); <i>Streptococcus</i> sp. (9%); <i>Pseudomonas</i> spp. (8%).
Batista et al. (2012)	Brasil	68,52% (SP)	<i>Staphylococcus</i> spp. (36,29%); <i>Proteus</i> spp. (29,62%); <i>Pseudomonas</i> spp. (15,55%); <i>E. coli</i> (13,33%); <i>Corynebacterium</i> sp. (11,11%); <i>Streptococcus</i> sp. (6,66%); <i>Bacillus</i> sp. (3,7%); <i>Serratia</i> spp. (3,7%); <i>Klebsiella</i> spp. (2,96%); <i>S. maltophilia</i> (2,96%); <i>Enterobacter</i> spp. (2,22%).
Úbeda et al. (2013)	Espanha	14,73% (SD)	<i>Serratia</i> spp. (12,5%); <i>Klebsiella</i> spp. (11,8%); <i>Providencia</i> spp. (9,1%); <i>M. morganii</i> (3,8%); <i>Proteus</i> spp. (1,9%); <i>E. coli</i> (1,5%); <i>Staphylococcus</i> spp.; <i>Streptococcus</i> spp.; <i>Bacillus</i> spp.; <i>Burkholderia</i> spp.; <i>Pseudomonas</i> spp.; <i>Actinobacillus</i> spp.; <i>Aerococcus</i> spp.; <i>Aeromonas</i> spp.; <i>Micrococcus</i> ; <i>Weeksella</i> spp.; <i>A. haemolyticus</i> ; <i>A. faecalis</i> ; <i>V. alginolyticus</i> .
Bresciani et al. (2014)	Itália	63,33% (SD)	<i>E. coli</i> (46,5%); <i>Staphylococcus</i> spp. (23,25%); <i>Serratia</i> spp. (13,95%); <i>Proteus</i> spp. (9,3%); <i>Streptococcus</i> sp. (4,65%); <i>Pseudomonas</i> spp. (2,3%).
Schulze et al. (2015)	Alemanha	25,58% (SD)	<i>L. aquática</i> (20,5%); <i>Enterobacter</i> spp. (13,%); <i>R. picketti</i> (11,36%); <i>Enterococcus</i> spp. (7,9%); <i>K. oxytoca</i> (7,9%); <i>P. mirabilis</i> (5,68%); <i>P. fluorescens</i> (5,68%); <i>Rhodococcus</i> sp. (4,54%); <i>A.</i>

			<i>xylosoxidans</i> (3,4%); <i>S. marcescens</i> (2,27%); <i>S. spidermidis</i> (2,27%); <i>Staphylococcus spp.</i> (2,27%); <i>S. faecalis</i> (2,27%); <i>Streptococcus sp.</i> (2,27%); <i>A. hydrofila</i> (1,13%); <i>E. aerogenes</i> (1,13%); <i>Myriodes sp.</i> (1,13%); <i>R. radiobacter</i> (1,13%); <i>S. paucimobilis</i> (1,13%).
Gaczarziwics et al. (2016)	Polônia	98,73% (SD)	<i>Staphylococcus spp.</i> (69,23%); <i>Streptococcus sp.</i> (66,66%); <i>Pseudomonas spp.</i> (55,12%); <i>Enterobacter spp.</i> (29,48%); <i>E. coli</i> (21,79%); <i>Bacillus sp.</i> (21,79%); <i>P. fluorescens</i> (16,66%); <i>Proteus spp.</i> (7,6%); <i>P. aeruginosa</i> (5,1%).
Bennemann et al. (2018a)	Brasil	86,01% (SP)	<i>Staphylococcus spp.</i> (42,8%); <i>E. coli</i> (28,57%); <i>Pseudomonas spp.</i> (28,57%); <i>Aeromonas spp.</i> (14,28%); <i>Bacillus sp.</i> (14,28%); <i>Klebsiella spp.</i> (14,28%); <i>Enterobacter spp.</i> (7,14%); <i>Serratia spp.</i> (7,14%).
Stojanov et al. (2020)	Sérvia	100% (SP)	<i>M. luteus</i> (14,5%); <i>Enterobacter spp.</i> (54%); <i>Staphylococcus spp.</i> (13,5%); <i>P. aeruginosa</i> (75%); <i>E. coli</i> (65%); <i>P. vulgaris</i> (15%); <i>S. haemolyticus</i> (12%); <i>Bacillus sp.</i> (11%); <i>Flavobacterium sp.</i> (5%).
Dalmutt et al. (2020)	Brasil	43% (SP)	<i>P. aeruginosa</i> (30,23%); <i>P. mirabilis</i> (25,58%); <i>E. coli</i> (20,93%); <i>K. gyiorum</i> (11,62%); <i>A. viridans</i> (4,65%); <i>B. casei</i> (2,32%); <i>Staphylococcus sp.</i> (2,32%); <i>C. koseri</i> (2,32%); <i>P. stuartii</i> (2,32%).
Tvrda et al. (2022)	Eslováquia	76,66% (SD)	<i>E. coli</i> (78%); <i>P. aeruginosa</i> (73%); <i>P. vulgaris</i> (22%); <i>C. difficile</i> (22%); <i>E. hirae</i> (22%); <i>S. chomogenes</i> (22%); <i>B. subtilis</i> (17%); <i>B. licheniformis</i> (17%); <i>R. nasimiriium</i> (17%); <i>S. simulans</i> (13%); <i>P. putida</i> (13%); <i>K. pneumoniae</i> (8%); <i>A. viridnas</i> (8%); <i>S. aureus</i> (8%); <i>B. cereus</i> (8%); <i>A. iwoffii</i> (8%); <i>Corynebacterium sp.</i> (8%).
Costinar et al. (2022)	Romênia	47,91% (SD)	<i>S. marcescens</i> (19,56%); <i>R. picketti</i> (17,39%); <i>P. mirabilis</i> (15,21%); <i>E. coli</i> (10,86%); <i>B. cepacia</i> (10,86%); <i>K. oxytoca</i> (8,69%); <i>P. aeruginosa</i> (8,69%); <i>Enterobacter spp.</i> (4,34%); <i>P. fluorescens</i> (4,34%).
Ngo et al. (2023)	Tailândia	100% (SP)	<i>Staphylococcus spp.</i> (100%); <i>Proteus spp.</i> (70%); <i>Micrococcus sp.</i> (50%); <i>D. acidovorans</i> (40%); <i>Rothia spp.</i> (35%); <i>Corynebacterium sp.</i> (35%); <i>C. gambrini</i> (30%); <i>G. sanguinis</i> (30%); <i>E. coli</i> (25%); <i>Aerococcus spp.</i> (25%); <i>P. aeruginosa</i> (20%); <i>C. koseri</i> (15%); <i>K. oxytoca</i> (15%); <i>Acinetobacter spp.</i> (15%); <i>P. aerogenes</i> (10%); <i>S. suis</i> (10%); <i>R. picketti</i> (10%); <i>Bacillus megaterium</i> (5%); <i>E. faecalis</i> (5%); <i>B. conglomeratum</i> (5%); Outras (65%).

Os microrganismos mais frequentemente relatados e associados a efeitos deletérios sobre a qualidade do sêmen suíno são, predominantemente, bactérias Gram-negativas, sendo grande parte pertencente à família *Enterobacteriaceae* (Dalmutt et al., 2020; Morrell et al., 2019; Ngo et al., 2023). Esses microrganismos destacam-se não apenas pela elevada frequência de isolamento, mas também pelo seu potencial patogênico, relacionado principalmente à produção de endotoxinas, como o lipopolissacarídeo (LPS), e a metabólitos tóxicos capazes de interferir diretamente na função espermática. Nesse contexto, Rybár et al. (2012) demonstraram que bactérias Gram-negativas exercem papel central na redução da fertilidade, comprometendo múltiplos parâmetros funcionais dos espermatozoides.

Em nosso trabalho, identificamos associações significativas entre a presença de microrganismos específicos e alterações nos parâmetros espermáticos. Para lesão de acrossoma às 24 horas observamos

efeito positivo significativo da presença de *Acinetobacter* ($p=0,0007$), *Actinomyces* ($p=0,0076$) e *Pelistega* ($p=0,0202$), indicando aumento expressivo deste tipo de lesão. Em relação à lesão de DNA, tanto às 24h quanto às 120h destacaram-se associações com *Suicoccus* ($p<0,0001$), *Pseudomonas* ($p\leq 0,0166$), *Proteus* ($p\leq 0,0443$) e *Streptococcus* ($p=0,0164$), evidenciando efeito deletério consistente dessas bactérias sobre a integridade espermática. Esses achados corroboram estudos que demonstram que microrganismos podem induzir estresse oxidativo e danos estruturais aos espermatozoides (Sepúlveda et al., 2014; Prieto-Martínez et al., 2014).

Para lesão de membrana, observamos efeitos significativos às 24h para *Streptococcus* ($p<0,0001$), *Sphingobacterium* ($p=0,0005$) e *Flavobacterium* ($p=0,0064$), enquanto às 120h destacaram-se *Proteus* ($p<0,0001$) e *Corynebacterium* ($p=0,0010$). A motilidade espermática foi a variável com maior capacidade explicativa ($R^2 = 0,543$ às 24h), sendo negativamente influenciada por *Morganella* ($p<0,0001$), *Myroides* ($p<0,0001$) e *Streptococcus* ($p=0,0003$). Às 120h ($R^2 = 0,159$), além de *Morganella* ($p=0,0050$) e *Shigella* ($p=0,0279$), observou-se efeito significativo da contagem bacteriana total, tanto na dose ($p=0,0034$) quanto no sêmen puro ($p=0,0478$), indicando que o aumento da carga bacteriana reduz a motilidade, evidenciando que esse parâmetro também é impactado pela carga bacteriana (Waberski et al., 2011).

Entre os agentes mais estudados, *Escherichia coli* merece destaque, uma vez que sua presença no ejaculado está associada ao aumento da formação de aglutinados espermáticos, decorrente da ação de toxinas bacterianas e de componentes de sua membrana externa, que promovem adesão entre células e prejuízo à motilidade (Maroto-Martín et al., 2010b). De forma geral, as alterações decorrentes da bacteriospermia incluem aumento da aglutinação espermática (Bresciani et al., 2014; Gączarzewicz et al., 2016), redução da motilidade (Althouse et al., 2005; Althouse, 2008), danos à integridade da membrana plasmática e do acrossoma (Waberski et al., 2011; Menezes et al., 2020), além da liberação de toxinas bacterianas e indução de danos ao DNA espermático (Villegas et al., 2005; Ďuračka et al., 2021).

Adicionalmente, espécies como *Pseudomonas aeruginosa* também têm sido amplamente associadas a efeitos negativos sobre a qualidade seminal, sendo descritas como capazes de reduzir significativamente a motilidade espermática e comprometer a integridade acrossomal, reforçando o impacto dessas bactérias sobre a funcionalidade dos gametas (Sepúlveda et al., 2014). Em conjunto, esses achados evidenciam que a composição da microbiota seminal, especialmente a presença de bactérias Gram-negativas, desempenha papel determinante na qualidade espermática e, consequentemente, na eficiência reprodutiva em programas de inseminação artificial. Os efeitos bacterianos sobre as células espermáticas de suínos são apresentados na Tabela 2.

Com o objetivo de controlar a proliferação bacteriana durante o armazenamento das doses inseminantes, diferentes classes de antimicrobianos são incorporadas aos diluidores comerciais (Yániz et al., 2010). Entre os compostos mais utilizados destacam-se os aminoglicosídeos, bem como a associação de penicilina e estreptomicina (Schulze et al., 2017). No entanto, o uso contínuo e não terapêutico desses antimicrobianos favorece a seleção de populações bacterianas resistentes, que podem apresentar potencial patogênico aos espermatozoides. Além disso, a própria temperatura de conservação do sêmen, geralmente entre 15 e 18 °C, contribui para esse processo, uma vez que não é suficiente para interromper completamente o crescimento bacteriano. Segundo Loughman et al. (2016), temperaturas reduzidas podem limitar a absorção dos antimicrobianos pelas bactérias, diminuindo sua eficácia e favorecendo a sobrevivência e multiplicação de microrganismos mais adaptados ou resistentes.

De forma geral, mesmo na presença de antimicrobianos nos diluidores, observa-se a persistência e, em alguns casos, a retomada do crescimento bacteriano ao longo do armazenamento, indicando que esses compostos exercem efeito predominantemente bacteriostático. A elevada ocorrência de isolados resistentes e multirresistentes reforça a necessidade de revisão das estratégias de controle microbiológico em centrais de produção de sêmen suíno, incluindo a escolha criteriosa dos antimicrobianos, o monitoramento periódico da resistência bacteriana e a adoção de medidas complementares de biossegurança e higiene ao longo do processo produtivo. Esses achados estão em consonância com os resultados descritos por Camargo et al., (2025), que demonstraram que, mesmo com o uso de antimicrobianos, o controle da proliferação bacteriana é limitado e dependente do tempo de armazenamento, podendo ocorrer aumento da carga microbiana em condições favoráveis. Além disso, os autores destacam que a dependência do uso contínuo de antimicrobianos em diluentes contribui para a seleção de microrganismos resistentes, reforçando a necessidade de estratégias alternativas de controle.

Tabela 2. Efeito bacteriano sobre o sêmen suíno armazenado a 15-18°C (Faccin et al., 2023).

Bactéria	Efeito no sêmen	Referência
<i>E. coli</i> , <i>C. perfringens</i>	Adesão, perda de motilidade e aglutinação	(Bonet et al., 2018)
<i>E. coli</i> , <i>C. perfringens</i>	Adesão e Perda de motilidade	(Pinart et al., 2017)
<i>Enterobacter cloacae</i>	Perda de motilidade, lesão de membrana plasmática, lesão de membrana acrossomal, aglutinação.	(Prieto-Martínez et al., 2014)
<i>E. cloacae</i> , <i>E.coli</i> , <i>S. marcescens</i>	Aglutinação e perda de motilidade	(Althouse e Lu, 2005)
<i>S. marcescens</i> , <i>K. oxytoca</i> , <i>M. morgani</i> , <i>P. mirabilis</i>	Redução de motilidade, aglutinação, lesão de membrana acrossomal, estresse oxidativo.	(Úbeda et al., 2013)
<i>P. mirabilis</i>	Estresse oxidativo, remodelação da membrana espermática e apoptose.	(Gao et al., 2018)
<i>E. coli</i>	Redução da motilidade, aglutinação, integridade de membrana e acrossoma.	(Chung et al., 2014)
<i>E. coli</i>	Redução da motilidade, aglutinação e perda de viabilidade	(So et al., 2011)

microbiológico. Nesse contexto, abordagens inovadoras, como o uso de superfícies com ação bacteriostática ou sistemas de preservação livres de antimicrobianos, têm sido propostas como alternativas promissoras para reduzir a contaminação bacteriana sem intensificar a pressão seletiva por resistência. Tais estratégias estão alinhadas à crescente demanda por sistemas produtivos mais sustentáveis e ao conceito de One Health, no qual a redução do uso de antimicrobianos é considerada fundamental.

Referências

- Alfano M, Ferrarese, R, Locatelli I, et al.** Testicular microbiome in azoospermic men -first evidence of the impact of an altered microenvironment. *Human Reproduction*, v. 33, n. 7, p. 1212–1217, 2018.
- Althouse GC, Kuster CE, Clark SG, Weisiger RM.** Field investigations of bacterial contaminants and their effects on extended porcine semen. *Theriogenology*, v. 53, n. 5, p. 1167–1176, 2000.
- Althouse GC, Lu KG.** Bacteriospermia in extended porcine semen. *Theriogenology*, v. 63, n. 2, p. 573–584, 2005.
- Altouse GC.** Sanitary procedures for the production of extended semen. *Reproduction in Domestic Animals*, v. 43, Suppl. 2, p. 374–378, 2008.
- Batista F, Ramos G, Wildemann P, Machado SA, Toniolli R.** Influence of bacterial contamination on boar semen quality and antimicrobial resistance profile. *Archives of Veterinary Science*, v. 17, n. 4, p. 27–33, 2012.
- Bennemann PE, Machado AS, Girardini LK, Sonálio K, Tonin AA, ZANI JL, Dutra LH, Stefani LM.** Bacterial contaminants and antimicrobial susceptibility profile of boar semen in southern Brazil studs. *Revista MVZ Córdoba*, v. 23, n. 2, p. 6637–6645, 2018.
- Bonet, S, Delgado-Bermúdez, A, Yeste, M.** Study of boar sperm interaction with *Escherichia coli* and *Clostridium perfringens*. *Animal Reproduction Science*, v. 197, p. 134–144, 2018.
- Bresciani C, Cabassi CS, Morini, G, Taddei S, Bettini R, Bigliardi E, Di Ianni F, Sabbioni A, Parmigiani E.** Boar semen bacterial contamination in Italy and antibiotic efficacy in a modified extender.

- Italian Journal of Animal Science*, v.13, n.1, p.83–87, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3082>
- Camargo JD, Jorge-Neto PN, Madruga ÉL, Oliveira MGD, Fruhling G, Braga JV, Poletto R, Zanella R.** Innovation on swine semen storage: bacteriostatic coating vs. conventional blister in commercial swine semen production. *AgriEngineering*, v. 7, n. 10, p. 338, 2025. DOI: 10.3390/agriengineering7100338.
- Chung, K.-H.; Sa, S.; Choi, S.; Kim, H.; Cho, K.; Hong, J.; Kim, D.; Kim, Y.; Park, J.** Effects of different concentration of *Escherichia coli* on boar sperm quality and field fertility. *Reproduction Abstracts*, v. 37, n. 4, p. 213–217, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1530/repabs.1.p226>
- Contreras MJ, Núñez-Montero K, Bruna P, García M, Leal K, Barrientos L, Weber H.** Bacteria and boar semen storage: progress and challenges. *Antibiotics*, v. 11, n. 12, p. 1796, 2022.
- Costinar L, Herman V, Pitoiu E, Iancu I, Degi J, Hulea A, Pascu C.** Boar semen contamination and antimicrobial resistance profile. *Animals*, v. 12, n. 1, p. 43, 2022.
- Dalmutt AC, Moreno LZ, Gomes VTM, Cunha MPV, Barbosa MRF, Sato MIZ, Knöbl T, Pedrosa AC, Moreno AM.** Characterization of bacterial contaminants of boar semen and antimicrobial susceptibility profiling. *Journal of Applied Animal Research*, v. 48, n. 1, p. 559–565, 2020.
- Đuračka M, Belić L, Tokárová K, Žiarovská J, Kačániová M, Lukáč N, Tvrdá E.** Bacterial communities in bovine ejaculates and their impact on the semen quality. *Systems Biology in Reproductive Medicine*, v. 67, n. 6, p. 438–449, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/19396368.2021.1958028>
- Faccin JCV.** *Efeito da contaminação e resistência bacteriana na manutenção da qualidade da dose inseminante de suínos*. 2023; Dissertação (Mestrado em Mestrado Profissional em Produção e Sanidade Animal) - Instituto Federal Catarinense.
- Gączarzewicz D, Udała J, Piasecka M, Blaszczyk B, Stankiewicz T.** Bacterial contamination of boar semen and its relationship to sperm quality. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, v. 19, n. 3, p. 451–459, 2016.
- Gao H, Hu Y, Wang J, Liu Q, Liu X, Wang Z.** Influence of *Proteus mirabilis* on boar spermatozoa. *Animal Reproduction Science*, v. 195, p. 33–43, 2018.
- Goldberg AMG, Argenti LE, Faccin JE, Linck L, Santi M, Bernardi ML, Cardoso M RI, Wentz I, Bortolozzo FP.** The impact of bacterial contamination on boar semen quality. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 38, n. 5, p. 3095–3104, 2017.
- Hou D, Zhou X, Zhong X, Settlege RE, Herring J, Wang L, Abdo Z, Forney LJ, Xu C.** Microbiota of the seminal fluid from healthy and infertile men. *Fertility and Sterility*, v. 100, n. 5, p. 1261–1269, 2013.
- Loughman K, et al.** Temperature-dependent gentamicin resistance of *Francisella tularensis* is mediated by uptake modulation. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, n. JAN, p. 1–11, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00037>
- Maes D, Nauwynck H, Rijsselaere T, Mateusen B, Vyt P, De Kruif A, Van Soom A.** Diseases in swine transmitted by artificial insemination. *Theriogenology*, v. 70, n. 8, p. 1337–1345, 2008.
- Maroto Martín LO, Cruz Muñoz E, De Cupere F, Van Driessche E, Echemendia-Blanco D, Machado Rodríguez JM, Beeckmans S.** Bacterial contamination of boar semen affects litter size. *Animal Reproduction Science*, v. 120, p. 95–104, 2010.
- Mcanally BE, Smith MS, Wiegert JG, Palanisamy V, Chitlapilly Dass S, Poole RK.** Characterization of boar semen microbiome and association with sperm quality. *Journal of Animal Science*, v. 101, p. skad243, 2023.
- Menezes TA, Mellagi APG, Oliveira GS, Bernardi ML, Wentz I, Ulguim RR, Bortolozzo FP.** Antibiotic-free extended boar semen preserved under low temperature. *Theriogenology*, v. 149, p. 134–144, 2020.
- Morrell JM, Martínez-Pastor F.** Removal of bacteria from boar ejaculates using a low-density colloid. *Theriogenology*, v. 126, p. 272–278, 2019.
- Morrell JM, Cojic A, Malaluang P, Ntallaris T, Lindahl J, Hansson I.** Antibiotics in semen extenders: a multiplicity of paradoxes. *Reproduction, Fertility and Development*, v. 36, p. RD23218, 2024.
- Ngo C, Suwimonteerabutr J, Apiwatsiri P, Saenkankam I, Prapasarakul N, Morrell JM, Tummaruk P.** Boar seminal microbiota in relation to sperm quality. *Animals*, v. 13, n. 24, p. 3837, 2023.
- Paschoal AFL, Mellagi APG, Ferrari CV, et al.** Adjusted method of penis fixation during boar semen collection aiming to reduce bacterial contamination. *Reproduction in Domestic Animals*, v. 56, p. 1–8, 2021.
- Pinart E, Delgado-Bermúdez A, Bussalleu E, Yeste M, Bonet S.** Comparative effects of bacteria on boar semen. *Animal Reproduction Science*, v. 177, p. 65–78, 2017.
- Prieto-Martínez N, Bussalleu E, Garcia-Bonavila E, Bonet S, Yeste M.** Effects of *Enterobacter cloacae* on boar sperm quality. *Theriogenology*, v. 82, n. 7, p. 1030–1037, 2014.

- Roca J, Vázquez, JM, Gil MA, Cuello C, Parrilla I, Martínez EA.** Challenges in pig artificial insemination. *Reproduction in Domestic Animals*, v. 41, Suppl. 2, p. 43–53, 2006.
- Rocha JC, Rosa ER, Quirino M, et al.** Quality control of semen processing in boar studs: A Brazilian scenario. *Scientia Agricola*, v. 81, p. e20230164, 2024.
- Rybár R, Prinosilova P, Kopecka V, et al.** Effect of bacterial contamination on sperm quality. *Andrologia*, v. 44, Suppl. 1, p. 410–418, 2012.
- Sa SJ, Choi SH, Kim HJ, et al.** Effect of *Escherichia coli* on boar sperm quality and reproductive performance. *Reproductive & Developmental Biology*, v. 38, n. 4, p. 159–163, 2014.
- Schulze M, Ammon C, Rüdiger K, Jung M, Grobbel M.** Analysis of hygienic critical control points. *Theriogenology*, v. 83, n. 3, p. 430–437, 2015.
- Schulze M, Grobbel M, Riesenbeck A, et al.** Antimicrobial use in boar semen preservation. *Reproduction in Domestic Animals*, v. 52, n. 3, p. 397–402, 2017.
- Sepúlveda L, Bussalleu E, Yeste M, Bonet S.** Effects of *Pseudomonas aeruginosa* on boar sperm quality. *Animal Reproduction Science*, v. 150, n. 3–4, p. 191–199, 2014.
- Stojanov I, Jasna PRĆ, Jelena APIĆ, Dragica, SĆ, Nevena MĆ.** Short communication antimicrobial resistance as a problem for the quality of boar semen. v. 70, n. 1, p. 136–146, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/acve-2020-0010>
- So KM, Sa SJ, Kim HJ, et al.** Effects of *Escherichia coli* contamination on boar semen. *Reproductive & Developmental Biology*, v. 35, p. 479–483, 2011.
- Tvrđá E, Bučko O, Rojková K, et al.** Bacterial contamination in boar semen and extenders. *Animals*, v. 11, n. 11, p. 3320, 2021.
- Úbeda JL, Ausejo R, Dahmani Y, Falceto MV, Usan A, Malo C, Perez-Martinez FC.** Adverse effects of members of the Enterobacteriaceae family on boar sperm quality. *Theriogenology*, v. 80, n. 6, p. 565–570, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.05.022>
- Vargas S, Sarmento RM, et al.** Impact of bacterial contamination on boar semen fertility. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v. 49, n. 2, p. 651–656, 2025.
- Viana CHC, Marques MG, Jorge Neto PN.** Sêmen suíno no Brasil: biotecnologias e mercado. *Anais da Associação Brasileira de Andrologia Animal*, v. 1, p. 38–45, 2019.
- Villegas J, Schulz M, Soto, L, Sanchez R.** Bacteria induce expression of apoptosis in human spermatozoa. *Apoptosis*, v. 10, n. 1, p. 105–110, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10495-005-6065-8>
- Waberski D, Luther AM, Grünther B, et al.** Sperm function in stored boar semen. *Animal Reproduction Science*, v. 128, p. 15–21, 2011.
- Weng SL, Chiu CM, Lin CT, et al.** Bacterial communities in semen from men of infertile couples: metagenomic sequencing reveals relationships of seminal microbiota to semen quality. *Plos One*, v. 9, n. 10, p. e110152, 2014.
- Yániz JL, Marco-Aguado MA, Mateos JA, Santolaria P.** Bacterial contamination and effects on semen quality. *Animal Reproduction Science*, v. 122, p. 142–149, 2010.
- Zhang J, Liu H, Yang Q, et al.** Seminal microbiota and reproductive potential in boars. *Frontiers in Microbiology*, v. 11, p. 1873, 2020.