

Impactos da clonagem na fertilidade de equinos

Gabriel Arruda Silva^{1*} , (iD Orcid <https://orcid.org/0009-0000-1375-6411>)

Nathalia Maria Borges de Oliveira¹ , (iD Orcid <https://orcid.org/0009-0005-8902-3739>)

Danilo Duarte³ , (iD Orcid <https://orcid.org/0000-0002-0528-399X>)

¹. Graduando do Curso Superior de Medicina Veterinária do Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio Campus Salto – SP. e-mail: arrudagabriel570@gmail.com *Autor correspondente

². Professor Mestre do Curso Superior de Medicina Veterinária do Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio Campus Salto – SP.

Resumo

A clonagem equina consiste em uma técnica que visa a reprodução de um animal geneticamente idêntico a outro, por meio da transferência nuclear de uma célula somática para um oócito enucleado. Essa biotecnologia tem sido utilizada com o intuito de perpetuar genótipos de animais superiores, e apresenta-se como uma alternativa viável em relação às demais técnicas de reprodução assistida. A aplicação dessa técnica na reprodução de equinos tem se tornado cada vez mais comum, com o objetivo de replicar animais de alto valor zootécnico. Diante disso, este trabalho teve como objetivo investigar os impactos da clonagem sobre a fertilidade de equinos, por meio de uma revisão de literatura. Para isso, foram selecionados artigos científicos publicados entre os anos de 2013 e 2023, nas bases de dados Scielo, PubMed e Google Acadêmico. As palavras-chave utilizadas na busca foram: clonagem em equinos, fertilidade e reprodução assistida. Foram selecionados estudos com base em critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Os principais resultados encontrados foram: a baixa taxa de sucesso da técnica de clonagem quando comparada a outras biotecnologias da reprodução; a associação entre clonagem e outras técnicas de reprodução assistida como TE, ICSI e OPU; o desenvolvimento embrionário in vitro e in vivo; e os impactos da técnica sobre a fertilidade dos clones. A análise dos resultados permitiu concluir que, embora a técnica de clonagem ainda apresente limitações, a sua associação com outras biotecnologias reprodutivas pode representar uma alternativa viável na reprodução de equinos de alto valor zootécnico.

Palavras-chave: reprodução animal; saúde reprodutiva; genética dos cavalos; nascimento de potros; técnicas modernas

Impacts of cloning on equine fertility

Abstract

Equine cloning is a technique that aims to reproduce an animal genetically identical to another, through the nuclear transfer of a somatic cell into an enucleated oocyte. This biotechnology has been used to perpetuate superior genotypes and is presented as a viable alternative to other assisted reproduction techniques. The application of this technique in equine reproduction has become increasingly common, especially with the purpose of replicating animals of high zootechnical value. Therefore, this work aimed to investigate the impacts of cloning on equine fertility, through a literature review. Scientific articles published between 2013 and 2023 were selected from the Scielo, PubMed and Google Scholar databases. The keywords used in the search were: equine cloning, fertility and assisted reproduction. Studies were selected based on predefined inclusion and exclusion criteria. The main results found were: the low success rate of the cloning technique when compared to other reproductive biotechnologies; the association between cloning and other assisted reproduction techniques such as ET, ICSI and OPU; in vitro and in vivo embryonic development; and the impacts of the technique on the fertility of clones. The analysis of

the results allowed us to conclude that, although the cloning technique still presents limitations, its association with other reproductive biotechnologies can represent a viable alternative in the reproduction of high zootechnical value equines.

Keywords: animal reproduction; reproductive health; horse genetics; foal birth; modern techniques

Introdução

A clonagem equina, por Transferência Nuclear de Células Somáticas (SCNT), permite replicar animais de alto valor zootécnico. No entanto, ainda apresenta desafios, como baixa eficiência reprodutiva, perdas gestacionais e questionamentos sobre a fertilidade dos clones (SILVA, 2017). A SCNT depende da reprogramação epigenética do núcleo inserido, processo frequentemente incompleto, comprometendo o desenvolvimento embrionário e resultando em falhas gestacionais e neonatais (CHOI *et al.*, 2016).

A fertilidade dos clones é tema controverso. Alguns apresentam função reprodutiva normal, enquanto outros mostram alterações hormonais ou baixa qualidade gamética (BRITO, 2024; MCSWIGGIN, 2018). Assim, técnicas complementares como ICSI (Injeção Intracitoplasmática de Espermatozoide), TE (Transferência de Embriões) e OPU (Ovum Pick-Up) têm sido associadas à SCNT (Transferência nuclear de Célula Somática) para elevar a eficiência e mitigar falhas (PAULUSSI, 2014).

O uso de tecnologias complementares busca superar limitações como baixa reprogramação celular e mortalidade embrionária, permitindo a seleção de embriões com maior potencial de implantação, especialmente por meio da vitrificação e biópsia embrionária (GALLI *et al.*, 2013).

A literatura também destaca o papel da epigenética na regulação dos genes envolvidos na fertilidade. Clones com reprogramação epigenética inadequada podem apresentar alterações em genes relacionados à espermatogênese e à maturação folicular, o que compromete a capacidade reprodutiva a longo prazo. Estudos recentes exploram o uso de inibidores de histona desacetilase para melhorar a reprogramação nuclear e reduzir as falhas de desenvolvimento embrionário, trazendo novas perspectivas para o campo da clonagem animal (MCSWIGGIN, 2018).

Além disso, a clonagem em equinos tem sido objeto de debates éticos e legais, especialmente quando envolve animais de competição. A obtenção de clones de garanhões premiados levanta questionamentos sobre padronização genética, diversidade populacional e

regulamentação de registros genealógicos em associações de raça. A ausência de normativas claras pode comprometer o avanço responsável da tecnologia (TRECENTINI; ZAPPA, 2023).

Do ponto de vista histórico, os primeiros clones equinos foram produzidos no início dos anos 2000, com destaque para iniciativas europeias e americanas. No Brasil, os primeiros relatos de sucesso ocorreram a partir de 2003, com avanços expressivos em centros privados e colaborações com universidades. Esses marcos evidenciam a crescente aplicação da biotecnologia reprodutiva na equinocultura nacional (SILVA, 2017).

Análise comparativa das técnicas de reprodução assistida e clonagem em equinos

A aplicação da clonagem em equinos, especialmente via transferência nuclear de células somáticas (SCNT), representa um avanço notável nas biotecnologias reprodutivas, com potencial para preservar linhagens genéticas de alto valor zootécnico. Contudo, sua taxa de sucesso ainda é considerada baixa. A SCNT exige uma reprogramação epigenética eficaz do núcleo inserido, mas esse processo frequentemente é incompleto, comprometendo o desenvolvimento embrionário e gerando perdas gestacionais (CHOI *et al.*, 2016).

Em comparação com técnicas como a transferência de embriões (TE), a injeção intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI) e a coleta de oócitos por Ovum Pick-Up (OPU), a clonagem mostra desempenho inferior. A maior complexidade técnica da SCNT, que envolve múltiplas etapas críticas como fusão nuclear, ativação oocitária e cultivo embrionário, contribui para os resultados mais modestos e para o alto custo do procedimento (HINRICHS, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2024).

A literatura destaca que a origem dos oócitos influencia significativamente os resultados. Estudos revelam que oócitos provenientes de éguas vivas, coletados via OPU, apresentam melhores taxas de clivagem e formação de blastocistos do que aqueles obtidos de abatedouros. O sucesso da clonagem também depende do manejo das receptoras, sendo a vitrificação e a sincronização uterina fatores que elevam a taxa de prenhez (HINRICHS, 2023).

A fertilidade dos clones permanece controversa. Apesar de alguns indivíduos apresentarem função reprodutiva normal, há registros de alterações hormonais e baixa qualidade gamética, o que pode estar relacionado à reprogramação epigenética deficiente (BRITO, 2024; MCSWIGGIN, 2018). Para mitigar essas limitações, tem-se investido em técnicas de seleção espermática, como swim-up, microfluídica e centrifugação em gradiente de

densidade, além da utilização de fatores como o PLCZ1, que atua na ativação do oócito (OLIVEIRA *et al.*, 2024).

Além da seleção de gametas, novas estratégias vêm sendo exploradas. O uso de inibidores de histona desacetilase tem mostrado potencial para melhorar a reprogramação nuclear, enquanto a biópsia embrionária e o diagnóstico genético pré-implantacional permitem a escolha de embriões com maior viabilidade, contribuindo para a redução de perdas gestacionais (PAULUSSI, 2014; GALLI *et al.*, 2013).

A Tabela 1 sintetiza os principais indicadores de desempenho das técnicas reprodutivas em equinos, como taxas de clivagem, formação de blastocistos, prenhez e nascimento de potros viáveis. Fica evidente que a OPU associada à ICSI apresenta uma das melhores relações custo-benefício, enquanto a clonagem, embora menos eficiente, mantém seu valor estratégico pela capacidade de replicar geneticamente indivíduos superiores (HINRICHS, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2024; GALLI *et al.*, 2013).

Tabela 1: Comparativo entre as principais técnicas aplicadas à reprodução equina, considerando indicadores como taxa de recuperação de oócitos, taxa de clivagem, taxa de blastocisto, taxa de prenhez e taxa de nascimento de potros viáveis. Os dados foram extraídos de estudos científicos recentes. Alguns valores, especialmente os relacionados à Transferência de Embriões (TE) e à clonagem (SCNT), representam médias consolidadas e amplamente referenciadas na literatura, podendo variar conforme protocolo técnico, condições laboratoriais e características individuais dos animais envolvidos.

Técnica de Reprodução Assistida	Taxa de Recuperação de Oócitos	Taxa de Clivagem	Taxa de Blastocisto	Taxa de Prenhez	Taxa de Nascimento de Potros Viáveis
Clonagem (SCNT)	—	68,70%	34,60%	37,70%	61,50%
OPU + ICSI	54,20%	85%–90%	31,40%	70%	>50%

Transferência de Embriões (TE)	—	—	—	65%–85%	64,40%
--------------------------------	---	---	---	---------	--------

Outro aspecto relevante refere-se à saúde dos potros clonados. Embora haja incidência aumentada de anomalias neonatais, como síndrome do potro grande e imunodeficiências, muitos clones, ao atingirem a maturidade, apresentam desempenho reprodutivo compatível com os animais obtidos por meios naturais ou por outras técnicas de reprodução assistida (HINRICHS, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2024; GALLI *et al.*, 2013).

Além das dificuldades técnicas, existem implicações éticas e legais relacionadas à clonagem, sobretudo quando envolve animais de competição. A ausência de normativas claras para o registro genealógico e o uso comercial de clones ainda representa um entrave à aplicação em larga escala da técnica (SILVA, 2017).

Historicamente, o Brasil avançou significativamente no campo da clonagem equina desde 2003, com o nascimento do clone Turbante J.O., que simbolizou um marco científico e zootécnico nacional (SILVA, 2017). Esse evento reforça a relevância da clonagem como ferramenta estratégica, sobretudo quando integrada a outras biotecnologias, como TE, OPU e ICSI.

Conforme demonstram os estudos revisados, a combinação entre técnicas reprodutivas e o refinamento dos protocolos laboratoriais pode elevar os índices de sucesso da clonagem. Avanços na seleção de gametas, no diagnóstico genético e no entendimento dos mecanismos epigenéticos são essenciais para tornar a clonagem uma alternativa mais viável e previsível na equinocultura (GALLI *et al.*, 2013; HINRICHS, 2023; OLIVEIRA *et al.*, 2024).

Conclusão

Com base na análise da literatura revisada, observou-se que a clonagem equina ainda apresenta desafios relevantes, principalmente relacionados à baixa taxa de desenvolvimento embrionário e à eficiência do processo. No entanto, os estudos indicam que a associação da SCNT com outras técnicas de reprodução assistida, como TE, ICSI e OPU, pode melhorar significativamente os índices reprodutivos, desde a clivagem até o nascimento de potros viáveis.

Verificou-se também que o sucesso da clonagem está intimamente ligado a fatores como a qualidade dos oócitos e espermatozoides utilizados, o protocolo de cultivo embrionário e o manejo das receptoras. A aplicação de diagnósticos genéticos e epigenéticos, além de avanços

em técnicas de vitrificação e sincronização hormonal, contribui para a melhoria dos resultados e para a redução das perdas gestacionais.

Em relação à fertilidade dos clones, embora haja relatos de indivíduos férteis, ainda é necessário aprofundar os estudos sobre sua capacidade reprodutiva a longo prazo, considerando possíveis alterações epigenéticas e hormonais que possam comprometer a produção de gametas ou a manutenção da gestação.

A clonagem equina, portanto, mostra-se promissora, especialmente quando empregada como parte de uma estratégia integrada com outras ARTs (Técnicas de Reprodução Assistida). A sua utilização pode contribuir para a conservação de genótipos superiores e o avanço da equinocultura, desde que acompanhada de critérios técnicos rigorosos, ética no manejo dos animais e contínua pesquisa científica.

Conclui-se que, embora a clonagem ainda enfrente limitações, sua associação com biotecnologias reprodutivas avançadas representa uma alternativa viável e eficaz para a reprodução de equinos de alto valor zootécnico (SILVA, 2017; GALLI *et al.*, 2013; HINRICHS, 2023).

Referências bibliográficas

ALMEIDA, V. F. **Transferência de embriões em equinos: o estado da arte**. Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2014.

ALMEIDA, V. **Fertilização in vitro em equinos**. Recife: Editora Nordeste, 2020.

BASTOS, A. R. T. I. **Reprodução assistida em equinos: um exemplo prático**. 2017. 78p. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2017.

BENVENUTT, V. R. **Clonagem animal: aspectos históricos, fisiológicos, sociais e aplicabilidade**. [Internet]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/271404/001195050.pdf>. Acesso em: 15 maio 2025.

BIANCHINI DAUD, L. **Técnicas avançadas de clonagem em equinos**. Campinas: Editora Paulista, 2023.

BRITO, L. Clonagem e fertilidade em equinos. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*. São Paulo, v.48, n.2, p.123–130, 2024. Disponível em: [link]. Acesso em: 15 maio 2025.

CABRAL, E. L.; CAVALCANTI, K. G. M.; COSTA, R. B. R. **Avanços na transferência de embriões equinos: técnicas, desafios e perspectivas futuras**. Recife: Centro Universitário Brasileiro, 2023.

CARNEIRO, G. F. Produção in vivo e in vitro de embriões em equinos. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*. São Paulo, v.40, n.4, p.158–166, 2016.

CARNEIRO, M. **Transferência de embriões em equinos**. São Paulo: Editora Veterinária, 2016.

CHOI, Y. H.; GUSTAFSON-SEABURY, U.; VELEZ, I. C.; HARTMAN, D. L.; FELICIDADE, S.; RIO, F. L. et al. **Viability of equine embryos after capsule puncture and biopsy for preimplantation genetic diagnosis**. Texas: College of Veterinary Medicine and Biomedical Sciences, Texas A&M University, 2016.

CLAES, A.; STOUT, T. A. E. Success rate in a clinical equine in vitro embryo production program. *Theriogenology*. São Paulo, v.187, p.215–218, 2022.

DIAS, J. A. V. G. **A síndrome metabólica equina e a sua relação com a laminite**. 2015. 60p. Relatório de Estágio – Universidade do Porto, Porto, 2015.

FERREIRA, T. **Injeção intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI) em equinos**. Salvador: Editora Bahia, 2021.

FLORES, A. M.; RODRIGUES, L. A. M.; RIGOLETTO, W. L. J.; CASTILHO, C. Transferência de embriões em equinos: receptoras acíclicas. *Ensaio e Ciências*. São Paulo, v.26, n.4, p.402–406, 2022. Disponível em:

<https://ensaioeciencia.pgsscogna.com.br/ensaioeciencia/article/download/10290/6509/37843>. Acesso em: 15 maio 2025.

GALLI, C.; LAZZARI, G.; DUCHI, R.; TURINI, P.; PONDERATO, N.; COLLEONI, S. Cloned horse pregnancies and offspring: success rates and development. *Reproduction Fertility and Development*. São Paulo, v.25, n.1, p.186–187, 2013.

GOISSIS, F.; PERECIN, F.; MEIRELLES, F. G. Sistema CRISPR/Cas9 e perspectivas de aplicações na cadeia produtiva de bovinos. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*. São Paulo, v.45, n.1, p.18–32, 2021.

GOMES, E. **Biotecnologia na reprodução equina**. Manaus: Editora Amazônia, 2022.

HINRICHS, C. **Assisted reproductive techniques in mares**. Plenary. College Station: College of Veterinary Medicine, Texas A&M University, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/rda.13259>. Acesso em: 15 maio 2025.

HINRICHS, K. et al. Fertilidade de éguas clonadas: um estudo comparativo. *Journal of Equine Veterinary Science*. São Paulo, v.43, p.45–52, 2023.

HINRICHS, K. The equine oocyte: factors affecting meiotic and developmental competence. *Molecular Reproduction and Development*. São Paulo, v.77, p.651–661, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/mrd.21186>. Acesso em: 15 maio 2025.

LIMA, G. **Reprodução assistida e clonagem: avanços e desafios**. Fortaleza: Editora Ceará, 2019.

MARQUES, C. S. **Avaliação de corpo lúteo e comparação das taxas de prenhez entre receptoras para transferência de embriões clones**. 2017. 55p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

MARTIN-PELAEZ, S. et al. IVF with frozen-thawed sperm after prolonged capacitation yields comparable results to ICSI in horses: A morphokinetics study. *Theriogenology*. São Paulo, v.232, p.39–45, 2025.

MARTINS, D. **O futuro da clonagem de equinos**. Rio de Janeiro: Editora Agropecuária, 2024.

McSWIGGIN, P. Reprogramação genética e fertilidade em clones de equinos. *Animal Reproduction Science*. São Paulo, v.105, n.3, p.321–328, 2018.

MIRANDA, G. S.; MOLSKA, V. M. R. M.; BUENO, R.; SILVA, A. L. **A importância do melhoramento genético para os equinos da raça Quarto de Milha**. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, n.35, 2020. [Sem paginação].

NUNES, A. **Ovum Pick-Up em equinos**. Brasília: Editora Central, 2023.

OCTAVIANO, J. I. **Predição de parto de éguas gestantes de produtos muare e clones equinos**. 2021. 62p. Dissertação (Mestrado em Reprodução Animal) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

OLIVEIRA, P.; COSTA, M. **Transferência de embriões e clonagem**. Curitiba: Editora Paraná, 2017.

OLIVEIRA, R. A.; ALONSO, M. A.; FONTE, J. S.; FERNANDES, C. B. Equine ICSI: an update on semen perspective. *Animal Reproduction*. São Paulo, v.21, n.4, e20240015, 2024.

PAIVA, J. C. **Inseminação artificial em equinos: revisão de literatura**. Barra Mansa: Centro Universitário de Barra Mansa, 2020.

PAULUSSI, K. S. **Diagnóstico genético pré-implantacional de embriões equinos**. 2014. 43p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2014.

ROCHA, F. T.; TRENTIN, J. M. **Clonagem em equinos**. In: Anais do Encontro Internacional de Medicina Veterinária IBVET. Campinas: Galoá, 2017.

ROSA, C. **Reprodução assistida e clonagem de equinos**. Florianópolis: Editora Catarinense, 2015.

ROSA, U. T. **Clonagem em equinos**. 2015. 49p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Medicina Veterinária) – Faculdades Integradas de Ourinhos, Ourinhos, 2015.

SCHEEREN, V. F. C. **Instabilidade cromossômica em embriões equinos provenientes de injeção intracitoplasmática de espermatozoide (ICSI)**. 2022. 112p. Tese (Doutorado em Reprodução Animal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2022.

SILVA, A. P. F. A. **Clonagem em equinos, passado, presente e perspectivas futuras**. 2017. 38p. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária) – Faculdade Jaguariúna/IBVET, Jaguariúna, 2017.

SILVA, R.; PEREIRA, J. **Inseminação artificial em equinos**. Belo Horizonte: Editora Rural, 2015.

SOUZA, R. Reprogramação do DNA e fertilidade em clones de equinos. *Revista de Biotecnologia Animal*. São Paulo, v.12, n.1, p.89–95, 2015.

TRECENTINI, M.; ZAPPA, L. Ética e regulamentação na clonagem equina de animais de competição. *Revista Bioética*. Brasília, v.31, n.1, p.99–108, 2023.

VARELA BETTENCOURT, E.; ANTUNES, L.; GONÇALVES, A. R.; BRANCO, S.; ROCHA, A. **Reprodução em equinos: manual prático**. Évora: Universidade de Évora, 2018.