

CENTRO PAULA SOUZA

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

Mariana Izabel da Silva Mendes

Gabriel Luís Pires

XENOTRANSPLANTE CARDIACO

FRANCA 2025

**Mariana Izabel da Silva Mendes
Gabriel Luís Pires**

XENOTRANSPLANTE CARDIACO

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

DEDICAMOS este trabalho a ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, e a todos os professores e colegas que nos apoiaram e incentivaram nessa nova etapa.

AGRADECEMOS aos professores, colegas de classe e empresas que filantropicamente doaram produtos, tempo, maquinários e serviços.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos que as grandes proezas da história foram
conquistas do que pareciam impossível”.

CHARLIE CHAPLIN

RESUMO

Mendes, Mariana Izabel da Silva; **Pires**, Gabriel Luís. **Xenotransplante Cardíaco**.
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.

Este trabalho analisa o transplante de coração entre diferentes espécies como uma opção viável em meio à crescente falta de órgãos humanos para transplante. A pesquisa tem como objetivo entender os avanços em ciência, tecnologia e biotecnologia que permitiram o surgimento dessa técnica, examinando suas potencialidades, limitações e efeitos na saúde pública. A metodologia escolhida foi a qualitativa, com base em uma revisão da literatura composta por artigos acadêmicos, documentos técnicos e estudos reconhecidos na área. Ademais, também foi considerada uma análise de um caso prático, utilizando dados clínicos recentes de experimentos de transplantes cardíacos em animais geneticamente modificados.

Os achados demonstram que a biotecnologia atual, em especial através da tecnologia CRISPR-Cas9, possibilitou alterações precisas em órgãos de porcos para diminuir substancialmente o risco de rejeição pelo sistema imunológico humano e a probabilidade de transmissão de doenças de animais para humanos. Esses desenvolvimentos representam um marco significativo para o setor da xenotransplantação, apresentando uma alternativa viável para a crescente demanda por órgãos que sejam compatíveis.

Contudo, apesar dos avanços, ainda existem desafios importantes. Um deles é a rejeição imunológica acelerada e severa, que continua a ser um grande impedimento para a aplicabilidade clínica desses transplantes. Também há a necessidade de criação e utilização de medicamentos imunossupressores que sejam mais eficazes e seguros, evitando complicações sem comprometer a saúde do receptor. Além disso, continua existindo o risco de propagação de patógenos de origem animal, o que demanda rigorosos protocolos de biossegurança e vigilância constante.

As conclusões desta pesquisa revelam que, apesar de o transplante entre espécies representar uma alternativa inovadora e promissora para pacientes que sofrem de doenças cardíacas severas, sua aplicação precisa ser realizada com precaução. Questões éticas, legais, sociais e de segurança devem ser debatidas e avaliadas amplamente. A colaboração entre pesquisadores, profissionais de saúde, órgãos

reguladores e a sociedade em geral é fundamental para assegurar que essa inovação traga benefícios responsáveis, justos e acessíveis a todos.

Palavras-chave: Xenotransplante Cardíaco, Engenharia Genética, Rejeição Imunológica, Ética, Bioimpressão.

ABSTRACT

Mendes, Mariana Izabel da Silva; **Pires**, Gabriel Luís. **Xenotransplante Cardíaco**. Course Conclusion Paper Presented for Obtaining the Title of Technician in Biotechnology Integrated in High School. ETEC Prof. Carmelino Correa Junior, Franca/SP, 2025.

This study analyzes heart transplantation between different species as a viable option amid the growing shortage of human organs for transplantation. The research aims to understand the advances in science, technology, and biotechnology that have enabled the emergence of this technique, examining its potential, limitations, and effects on public health. The chosen methodology was qualitative, based on a review of the literature composed of academic articles, technical documents, and recognized studies in the field. In addition, a practical case analysis was also considered, using recent clinical data from heart transplant experiments in genetically modified animals.

The results show that current biotechnology, particularly CRISPR-Cas9 technology, has enabled precise modifications to pig organs to substantially reduce the risk of rejection by the human immune system and the likelihood of disease transmission from animals to humans. These developments represent a significant milestone for the

xenotransplantation sector, presenting a viable alternative to the growing demand for compatible organs.

However, despite advances, significant challenges remain. One of these is accelerated and severe immune rejection, which continues to be a major impediment to the clinical applicability of these transplants. There is also a need to develop and use immunosuppressive drugs that are more effective and safer, preventing complications without compromising the recipient's health. In addition, there is still a risk of spreading animal pathogens, which requires strict biosafety protocols and constant surveillance.

The findings of this research reveal that, although interspecies transplantation represents an innovative and promising alternative for patients suffering from severe heart disease, its application must be carried out with caution. Ethical, legal, social, and safety issues must be widely debated and evaluated. Collaboration between researchers, healthcare professionals, regulatory bodies, and society at large is essential to ensure that this innovation brings responsible, fair, and accessible benefits to all.

Keywords: Cardiac Xenotransplantation, Genetic Engineering, Immune Rejection, Ethics, Bioprinting.

SUMÁRIO

RESUMO	4
ABSTRACT	5
1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Justificativa	7
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo Geral	9
1.2.2 Objetivos Específicos.....	

2 DESENVOLVIMENTO	11
2.1 Histórico dos Transplantes em Geral	11
2.1.1 Definição de Xenotransplante	13
2.1.2 Engenharia Genética e Edição Gênica	14
2.1.2.1 Novas Estratégias para Tolerância Imunológica	15
2.1.2.1.1 Rejeição Imunológica	16
2.1.2.1.2 Riscos de Transmissão de Doenças Zoonóticas	18
2.1.2.1.2.1 Medidas de Segurança e Controle Sanitário	19
3 CONCLUSÃO	20
REFERÊNCIAS	21
APÊNDICES	23
ANEXOS	24

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativas

O transplante de órgãos e tecidos representa uma realização significativa na medicina contemporânea, proporcionando esperança e uma nova oportunidade de vida para uma imensidão de pacientes. As práticas cirúrgicas avançadas são essenciais para o êxito desses procedimentos, viabilizando intervenções mais seguras e eficazes. A biotecnologia e a impressão tridimensional de órgãos estão surgindo como inovações encorajadoras, embora também provoquem questões éticas. Problemas éticos complicados envolvem o transplante de órgãos, desde a distribuição justa dos mesmos até o consentimento esclarecido e a privacidade dos pacientes. A ética desempenha um papel vital em todas as fases do processo de transplante e requer uma abordagem meticulosa. Os obstáculos futuros incluem a falta de órgãos, que demanda soluções criativas, como a regeneração de órgãos e a criação de órgãos artificiais. Assegurar acesso global a transplantes e resolver questões emergentes, incluindo o uso de inteligência artificial, são responsabilidades importantes. Em última análise, o campo dos transplantes de órgãos e tecidos é dinâmico e necessita de colaboração entre profissionais de saúde, cientistas, especialistas em ética e a comunidade. O debate contínuo é essencial para assegurar que os progressos técnicos e éticos tragam benefícios para a humanidade de forma equitativa e justa. (DE FREITAS, Amanda Torres et al. , 2023).

Entretanto, existem desafios éticos significativos que permanecem, como estabelecer critérios justos para a distribuição de órgãos, salvaguardar os direitos de doadores e receptores, e evitar a comercialização ou coerção na doação de órgãos. Ademais, a pesquisa ressalta as disparidades no acesso a transplantes, com determinados grupos sociais enfrentando maiores obstáculos para receber esses procedimentos, seja devido a questões financeiras, localização geográfica ou discriminação. As inovações tecnológicas e científicas na área de transplantes de órgãos oferecem esperanças encorajadoras para melhorar a qualidade de vida dos pacientes que

necessitam dessas intervenções. No entanto, é fundamental lidar com os obstáculos éticos e as desigualdades no acesso aos transplantes para assegurar um sistema que seja justo e eficiente. A união de avanços tecnológicos, políticas públicas melhores e maior conscientização por parte da sociedade pode resultar em um futuro onde a doação e o recebimento de órgãos sejam mais justos e acessíveis para todos. (DE MELO, Ana Beatriz Oliveira et al., 2024).

A falta de órgãos continua sendo um dos maiores obstáculos no setor de transplantes. Apesar dos progressos em tecnologia e ciência, a necessidade de órgãos ainda é maior do que a quantidade disponível. Campanhas educativas e alterações nas diretrizes de doação, como o consentimento automático, representam algumas das táticas que diferentes nações estão implementando para aumentar o total de doadores. Ademais, os fatores culturais e religiosos exercem uma influência considerável na doação de órgãos. Algumas tradições e crenças religiosas impõem limitações ou têm visões desfavoráveis sobre a doação, o que pode restringir a acessibilidade aos órgãos. (MELO, A. B. O., 2024)

O xenotransplante tem mostrado potencial, mesmo diante de certos obstáculos relacionados à rejeição, reações imunes, eficácia fisiológica e a ameaça de transmissão de agentes infecciosos. O desenvolvimento de linhagens de porcos geneticamente modificados, que incorporam genes humanos, visa aumentar a compatibilidade com humanos e, dessa forma, diminuir as respostas imunes durante os transplantes. Além disso, os animais programados para transplante devem ser cuidadosamente monitorados e estar protegidos contra patógenos. A criação de animais ou raças "puras" em ambientes quase estéreis auxiliaria na diminuição desses riscos. Os porcos destinados ao xenotransplante devem ser gerados em instalações biosseguras conhecidas como pig facility, onde as porcas e os filhotes podem viver em condições de higiene controladas. (FIORELLI, Alfredo Inácio et al. 2008)

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

A meta principal é conduzir um exame detalhado dos avanços que possibilitaram o surgimento do transplante de coração de animal. Isso inclui o estudo das inovações tecnológicas, como manipulação genética e edição de genes (por exemplo, CRISPR), que permitem a alteração de órgãos de animais (especialmente de porcos) para melhorar sua aceitação pelo corpo humano e reduzir a rejeição do sistema imunológico. Simultaneamente, a meta pretende investigar como essas ferramentas científicas e tecnológicas estão sendo utilizadas para superar os obstáculos que, historicamente, dificultavam o êxito desses procedimentos. Além disso, é crucial que esta análise aborde uma avaliação crítica das questões éticas, legais e de segurança, como a possibilidade de transmissão de doenças de animais para humanos e as preocupações sobre o consentimento e a equidade na alocação de órgãos, assegurando que a potencialidade do xenotransplante seja analisada sob uma perspectiva de responsabilidade e justiça. Ao cumprir esse objetivo, teremos entendido a viabilidade e as consequências do transplante de coração de animal como uma alternativa para a crise na doação de órgãos.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Explorar novas descobertas na engenharia genética e nos métodos de edição de genes (como o CRISPR) que possibilitam a alteração de órgãos de animais (particularmente de porcos) para diminuir a rejeição do sistema imunológico em doadores humanos..
2. Examinar os perigos de propagação de enfermidades que podem ser transmitidas de animais para humanos, assim como as estratégias de segurança e controle sanitário imprescindíveis para a realização segura de transplantes de coração entre espécies diferentes.
3. Abordar os aspectos éticos, jurídicos e sociais relacionados à implementação do transplante de coração de outra espécie, com foco particular na escolha voluntária, na proteção do paciente e nas consequências para a comunidade.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Histórico dos Transplantes em Geral

A antiga mitologia menciona a existência de criaturas míticas com características de diferentes seres, representando a ideia de transfêrencia. No entanto, essa concepção só se tornou relevante na década de 1950, especialmente diante da ausência de tratamentos eficazes para enfermidades consideradas incuráveis. Nesse contexto, surgiram os primeiros esforços na medicina ligados ao transplante de órgãos, resultando no primeiro transplante renal bem-sucedido em um ser humano, realizado em 1954. Desde então, o campo dos transplantes evoluiu consideravelmente, transformando-se de uma ideia mitológica em uma prática necessária na medicina moderna. Esse desenvolvimento foi viável graças à colaboração entre equipes de cientistas, imunologistas, cirurgiões e autoridades públicas, que se dedicaram à importância das doações de órgãos.(Nordham KD, Ninokawa S. The history of organ transplantation.,2021)

Os transplantes de coração são uma das realizações mais importantes da medicina contemporânea e oferecem uma nova oportunidade de vida para pessoas com doenças cardíacas avançadas. Contudo, a necessidade de corações saudáveis é maior do que a quantidade disponível, o que leva a longas filas de espera e à perda de vidas prematuramente. A falta de órgãos, juntamente com a escassez de doadores compatíveis, torna imprescindível a busca por alternativas inovadoras por meio de métodos promissores na área médica: a xenotransplantação cardíaca, que consiste no uso de órgãos de porcos como uma opção viável para o transplante de coração humano. (PECCINELLI, Gustavo Cardi et al.,2023)

2.1.1 Definição de Xenotransplante

O xenotransplante, conhecido como transplante interespécies, envolve a utilização de órgãos, tecidos ou células de criaturas animais para serem transplantados em seres humanos. Esta abordagem tem se revelado uma excelente solução para a escassez de doadores humanos.

A proposta é empregar animais que passaram por modificações genéticas para diminuir ou até eliminar a probabilidade de rejeição pelo organismo humano. (Zirolometa, E. C.,2022)

Os transplantes de coração são considerados um dos maiores progressos na medicina atual, oferecendo uma chance renovada de vida para pacientes com doenças cardíacas em fase avançada. No entanto, a disponibilidade de corações saudáveis ainda não é suficiente para cobrir a demanda crescente, resultando em longas esperas e, por consequência, na morte prematura de muitos. A falta de órgãos disponíveis, juntamente com a dificuldade em localizar doadores humanos que sejam compatíveis, tem levado ao desenvolvimento de pesquisas em busca de soluções inovadoras e eficazes. Dentre essas alternativas, o xenotransplante cardíaco (Xtx) se destaca, utilizando órgãos de animais, especialmente suínos, como uma possível resposta à escassez de órgãos humanos para transplante de coração. (PECCINELLI, Gustavo Cardi et al.,2023)

2.1.1 Engenharia Genética e Edição Gênica

Em 2014, a metodologia CRISPR-Cas9 tornou as edições genéticas mais acessíveis.

Ela facilita o bloqueio, a adição ou a remoção de genes

em qualquer organismo. Conforme reportado, a CRISPR Therapeutics, localizada em Cambridge, Massachusetts, foi a pioneira a solicitar autorização dos órgãos reguladores da Europa para começar testes em 2018 para β -talassemia e fez um pedido à FDA dos Estados Unidos para dar início a um estudo sobre a anemia falciforme no mesmo ano. Esse progresso está sendo monitorado pela Escola de Medicina da Universidade de Stanford, que também está desenvolvendo diversos ensaios e investigações adicionais utilizando CRISPR para condições metabólicas, autoimunes e neurodegenerativas. A Universidade da Pensilvânia recebeu aprovação do National Institutes of Health e do FDA para conduzir ensaios clínicos focados em melanoma, sarcoma e mieloma múltiplo. Além disso, várias empresas estão explorando a modificação das células T por meio do CRISPR para tratar o câncer. (ACHENBACH,et al., 2017)

No âmbito das vacinas, considerando que o sistema CRISPR-Cas resulta da resposta bacteriana a infecções por vírus bacteriófagos, cientistas estão explorando maneiras de incorporar sequências do genoma viral que não possuem homologia com HIV, HPV e EBV ao genoma humano, utilizando CRISPR-Cas para abordar esse tipo de infecção. Experimentos em camundongos têm sido realizados com adenovírus como vetores para desativar a proteína PCSK9, que está associada ao colesterol LDL, a fim de evitar doenças do coração. Uma nova plataforma chamada iCRISPR, fundamentada nos sistemas CRISPR/Cas e TALENs, está sendo criada para impactar o processo de diferenciação em células hPSCs. (KHALILI et al., 2015)

2.1.1.1 Novas estratégias para tolerância imunológica

Quando um órgão de porco modificado geneticamente, seja com ou sem a presença de hCRP, foi implantado em um primata não humano, surgiram incompatibilidades moleculares entre os sistemas de coagulação de porcos e primatas. Isso levou ao surgimento de microangiopatia trombótica no enxerto e coagulopatia de consumo no receptor. Isso pode estar ligado à ativação de anticorpos ou talvez ao complemento proveniente do endotélio vascular do enxerto. Portanto, isso pode não ocorrer se não houver ativação dos anticorpos nas células endoteliais vasculares, embora essa possibilidade dependa completamente da total ausência de anticorpos naturais no organismo receptor e, adicionalmente, da eficácia extrema do tratamento imunossupressor em impedir qualquer produção de novos anticorpos. Essa tarefa tem se mostrado desafiadora mesmo em casos de alotransplante. (ZIROLOMETA, Eduarda Cavalli et al.,2022)

2.1.1.1.1 Rejeição Imunológica

Os suínos possuem um considerável potencial para serem utilizados em pesquisas e tratamentos de xenoTx. Embora possam gerar uma resposta adversa em humanos, resultando em HAR, seus órgãos, principalmente o fígado, possuem semelhanças morfológicas com os humanos. Outros benefícios de utilizar porcos incluem custos de manutenção e reprodução relativamente baixos, facilidade em acasalar em cativeiro, o tamanho adequado de seus órgãos para pacientes de diferentes tamanhos, menor estigma social e a capacidade de gerar suínos transgênicos, que são livres de patógenos e compatíveis com o sistema imunológico humano, o que ajuda a evitar rejeições. (Galvão, F. H. F.,et al.,2020)

As ferramentas voltadas para a edição genética em suínos estão avançando rapidamente, permitindo que cortes precisos no DNA sejam feitos para eliminar com eficácia certos genes. A criação de métodos que permitam a substituição de genes suínos por genes humanos com alta exatidão é altamente desejável para o futuro desenvolvimento de doadores de porcos para xenotransplante. Recentemente, Dos Santos e colaboradores, através de uma colaboração entre o LIM 37 e a Faculdade de Medicina da Universidade de Indiana, aplicaram CRISPR/Cas9 para gerar um suíno nocaute do gene da trombomodulina (pTHBD) e o trocaram por um plasmídeo que continha um marcador de seleção antibiótica, sem promotor, e o exon correspondente à trombomodulina humana. Utilizou-se a recombinase PhiC31 para

eliminar o marcador antibiótico, resultando em células endoteliais da aorta suína que expressam trombomodulina humana em substituição ao pTHBD, reguladas pelo promotor endógeno do porco. Essa casete de seleção sem promotor facilitou o enriquecimento eficiente das células que continham o transgene, possibilitando a expressão do gene humano pelo promotor nativo de pTHBD. A regulação genética permaneceu inalterada após a troca do gene, visto que o promotor endógeno do porco foi preservado em sua posição original. Assim, os autores afirmaram que a tecnologia Cas9 e a recombinase possibilitam a introdução de genes humanos em suínos e abrem caminho para a criação de suínos portadores de genes humanos que podem ser expressos em tecidos específicos, mantendo a regulação genética. Esses avanços na terapia genética podem viabilizar o uso de suínos para transplantes. (Galvão, F. H. F., et al., 2020)

Os obstáculos imunológicos ligados ao xenotransplante são consideráveis, atravessando as barreiras de rejeição de órgãos, similar ao que acontece em alotransplantes. Existem três categorias de rejeição que podem ocorrer: a hiperaguda e a aguda, as quais serão discutidas neste texto, enquanto a rejeição crônica não será abordada. Nesse cenário, os xenoantígenos, que são moléculas encontradas nos órgãos do doador, desempenham uma função essencial na ativação das respostas imunológicas. A rejeição hiperaguda é marcada pela rápida eliminação do órgão transplantado, geralmente ocorrendo em minutos após a cirurgia. Essa reação é provocada pela presença de anticorpos já existentes, especialmente contra xenoantígenos específicos, como β 4GalN2, CMAH e GGTA. O sistema imunológico humano identifica esses antígenos como estranhos, resultando em uma série de eventos que levam à ativação do sistema complemento e à eliminação do órgão transplantado.

Embora a resposta imunológica aguda seja mais lenta que a hiperaguda, ainda representa um desafio considerável. Os xenoantígenos induzem respostas humorais, que envolvem a formação de anticorpos, sendo os linfócitos e neutrófilos os principais tipos de células imunológicas. Os linfócitos identificam diretamente os xenoantígenos presentes nas células do órgão transplantado, iniciando uma resposta celular específica. Ao mesmo tempo, os anticorpos gerados contra os xenoantígenos podem ativar o sistema complemento, resultando na destruição do órgão. (TORRES, Gustavo et al., 2024)

2.1.1.1.2 Riscos de Transmissão de Doenças Zoonóticas

Risco de transmissão de patógenos de animais para humanos

Ao realizar transplantes de órgãos de animais em pessoas, existe o risco de aparecerem e/ou se transmitirem doenças infecciosas que são exclusivas de animais para os seres humanos, conhecidas como zoonoses. Apesar de primatas não-humanos serem nossos parentes evolutivos mais próximos e, portanto, parecerem ser as melhores opções para estudos de xenotransplante, a pesquisa atual foca na utilização de órgãos de porcos que foram geneticamente modificados. A escolha de suínos visa diminuir a probabilidade de zoonoses devido à proximidade genética entre humanos e primatas não-humanos, o que poderia facilitar a troca de doenças entre as espécies, a mutação de agentes infecciosos ou a combinação de patógenos que poderiam dar origem a novos vírus, com a possibilidade de surgimento de doenças inesperadas e desconhecidas pela ciência.

O xenotransplante tem o potencial de permitir a transmissão interespecies de agentes infecciosos de animais para humanos por meio de diferentes mecanismos:

a) as cirurgias podem romper as barreiras anatômicas que normalmente impedem infecções, como a pele e membranas; b) os receptores de transplante frequentemente têm seu sistema imunológico enfraquecido intencionalmente para melhorar a sobrevivência do órgão transplantado; c) condições de saúde pré-existentes dos pacientes, como AIDS ou diabetes, podem afetar sua resposta imune a infecções. Assim, quem recebe um xenotransplante está potencialmente exposto a agentes infecciosos já identificados como transmissíveis de animais para humanos, além de patógenos que poderiam se tornar transmissíveis apenas através do xenotransplante e que talvez não possam ser facilmente detectados com as tecnologias diagnósticas atuais. Os receptores de xenoenxertos que se tornarem infectados poderiam, por sua vez, transmitir esses patógenos a outras pessoas e, eventualmente, à população em geral. (DE FREITAS COELHO, et al., 2023)

2.1.1.1.2.1 Medidas de segurança e controle sanitário.

O indivíduo que recebe um órgão de um animal deve ter um acompanhamento médico constante durante toda a sua vida. Isso é necessário não apenas para assegurar que

o órgão transplantado se mantenha saudável e evitar a rejeição pelo sistema imune, mas também para confirmar que não haja contaminação no corpo por patógenos de origem suína. Esse aspecto adiciona um novo ponto a ser cuidadosamente avaliado pelos pais em relação a xenotransplantes em crianças. Ademais, em certos países, a exigência de autópsia em caso de morte também faz parte do consentimento informado para os receptores de xenotransplantes.(DE FREITAS COELHO,et al.,2023)

Com o progresso na investigação genética e na criação de métodos para modificar órgãos de doadores, o xenotransplante pode trazer uma verdadeira esperança para indivíduos que não são aptos a receber transplantes tradicionais. Entretanto, é crucial tratar essas questões éticas e técnicas de maneira adequada e responsável, visando a segurança dos pacientes e da sociedade em geral.(PECCINELLI, Gustavo Cardi et al.,2023)

As preocupações éticas, legais e políticas relacionadas à inclusão de pacientes em xenotransplantes, uma técnica que ainda está em teste, parecem entrar em conflito com marcos significativos, como a Declaração de Helsinque e a Declaração de Nuremberg, que asseguram que a participação em pesquisas deve ser completamente voluntária, não forçada, e que a retirada do estudo seja uma escolha independente de cada indivíduo.(DE FREITAS COELHO,et al.,2023).

3 CONCLUSÃO

Este trabalho investigou a viabilidade do uso de transplantes de coração de animais como uma alternativa inovadora para a persistente falta de órgãos humanos para transplante. Por meio de uma metodologia qualitativa, que combinou uma revisão bibliográfica completa com a análise de casos recentes, foi possível identificar que os avanços notáveis na biotecnologia, especialmente com a aplicação da ferramenta CRISPR-Cas9, abriram portas para a alteração genética de órgãos de porcos. Essas

modificações genéticas são essenciais para diminuir a rejeição imunológica pelo corpo do receptor e para minimizar o risco de transmissão de doenças zoonóticas.

Entretanto, a investigação também revelou que o transplante de coração de animais, embora promissor, ainda enfrenta desafios significativos. A rejeição imunológica, que se manifesta de forma hiperaguda e aguda, continua a ser um complicador complexo, assim como a necessidade de terapias imunossupressoras que sejam cada vez mais eficazes e seguras. Além disso, a potencial passagem de patógenos de animais para seres humanos requer vigilância constante e a adoção de rigorosos protocolos de segurança sanitária.

Diante dessa realidade, é possível concluir que o transplante de coração de animais oferece uma esperança significativa para pacientes com doenças cardíacas em fase avançada, proporcionando uma nova chance de vida. No entanto, sua implementação em grande escala necessita de uma abordagem cuidadosa e abrangente. É crucial que questões éticas, legais e de segurança sejam abordadas com a seriedade e responsabilidade que merecem. A colaboração contínua entre pesquisadores, profissionais de saúde, órgãos reguladores e a sociedade em geral é essencial para assegurar que os avanços tecnológicos tragam benefícios justos, equitativos e seguros para todos, criando um futuro onde a doação e o recebimento de órgãos sejam mais acessíveis e éticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Nordham KD, Ninokawa S. The history of organ transplantation. *Proc (Bayl Univ Med Cent)*. 2021 Oct 19;35(1):124-128. doi: 10.1080/08998280.2021.1985889. PMID: 34970061; PMCID: PMC8682823.

PECCINELLI, Gustavo Cardi et al. XENOTRANSPLANTE CARDÍACO: OS DESAFIOS DO USO DE CORAÇÕES SUÍNOS EM HUMANOS. *Anais da Semana Universitária e Encontro de Iniciação Científica* (ISSN: 2316-8226), v. 1, n. 1, 2023.

Zirolometa, E. C. .; Zanini, G. .; Fuzinato, S. B. .; Zancanaro, V. . XENOTRANSPLANTE CARDÍACO: REVISÃO DE LITERATURA. *REASE* 2022, 8, 740-746.

ACHENBACH, Joel; JOHNSON, Carolyn Y. Broad Institute scientist prevails in epic patent fight overCRISPR.

Galvão, F. H. F.; Carneiro D'Albuquerque, L. A. Xenotransplante. Rev. Med. (São Paulo) 2020, 99 (1), v-ix.

TORRES, Gustavo et al. Podemos transplantar órgãos de porcos em humanos?. Genética na Escola, v. 19, n. 1, p. 40-50, 2024.

DE FREITAS COELHO, Gustavo Henrique. Xenotransplantação: prós e contras. 2023