

KEYNOTE · ANADIAL 2026

# Tecnologia para Cuidar Melhor *e com Mais Eficiência*

Da evidência de hoje à diálise de 2040



**Sérgio Laranjo**

Cardiologista Pediátrico · NOVA Medical School

# Vinte minutos · cinco actos



*Carga → Evidência → Horizonte → Visão → Acção*

# O Imperativo de 2040

## O Desafio Demográfico

A doença renal crónica será a 5ª principal causa de mortalidade global em 2040 (OMS).

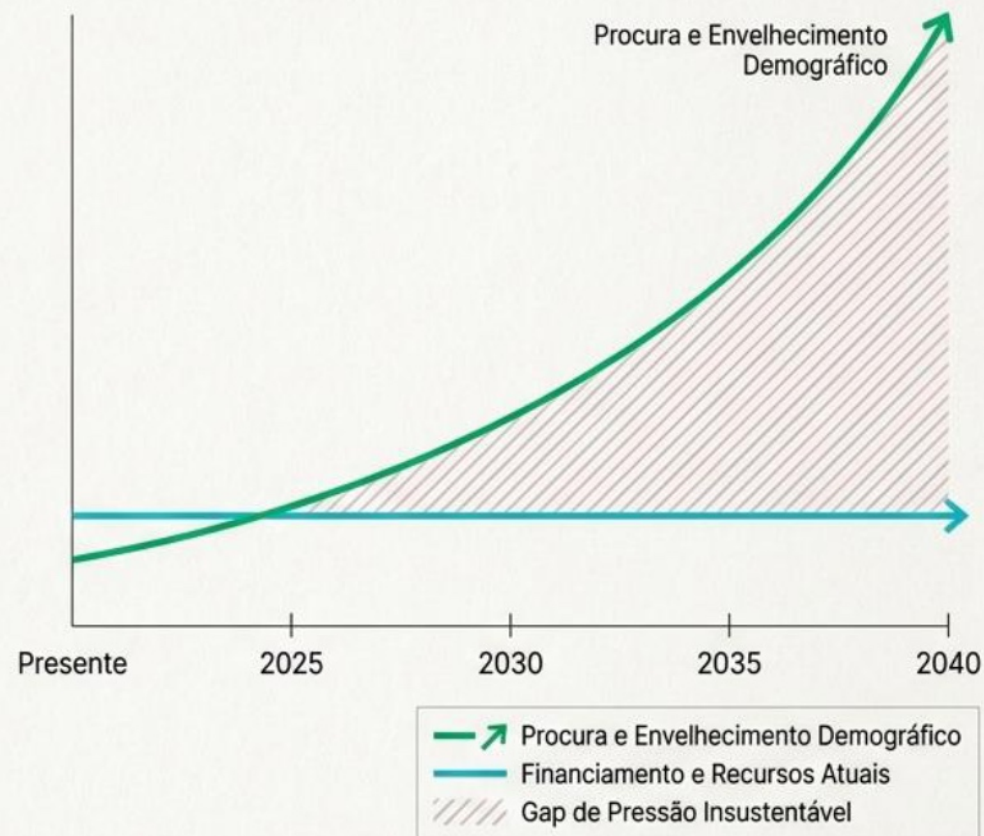
## A Realidade Nacional

1 milhão de portugueses com DRC; ~13.000 dependentes de diálise (90% tratados no setor privado).

## O Esgotamento do Modelo

O preço compreensivo esteve congelado 18 anos. A atualização de 2,3% é essencial, mas o modelo Fee-for-Service é estruturalmente insustentável perante a transição demográfica.

## Análise de Sustentabilidade e Pressão do Sistema



A tecnologia não é apenas um vetor de otimização de custos; é o único caminho viável para garantir a sustentabilidade sistémica e a dignidade do doente.

# A Mudança de Paradigma: 2026 vs. 2040

|                        | 2026                                               | 2040                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Locus de Cuidado       | Confinado à Clínica<br>(Máquinas estacionárias)    |  <b>Omnipresente</b><br>(Dispositivos Wearables e Implantáveis)                                                                                          |
| Momento de Intervenção | Reativo<br>(Tratamento da falência)                |  <b>Preditivo e Preemptivo</b><br>(Intervenção algorítmica)           |
| Tecnologia Central     | Filtração Mecânica<br>(Filtros sintéticos, bombas) |  <b>Bioartificial e Regenerativa</b><br>(Células humanas, nanoporos)  |
| Modelo Económico       | Baseado em Volume<br>(Fee-for-Service)             |  <b>Baseado em Valor</b><br>(Outcomes e Qualidade de Vida)        |



## Cuidado Reativo (Tradição)

### Momento de Intervenção

Orientado pelo Sintoma.  
Ação clínica reativa após a ocorrência da complicação (ex: choque hipotensivo).

### Gestão de Dados

Silos e Papel.  
Processos clínicos densos e análises pontuais mensais isoladas.

### O Foco do Clínico

Sobrecarga de Teclado.  
Foco no ecrã, no preenchimento de formulários e no clique.

## Cuidado Aumentado (IA 2040)

### Momento de Intervenção

Orientado pelo Padrão Oculto.  
Previsão de falhas através de Machine Learning com dias de antecedência.

### Gestão de Dados

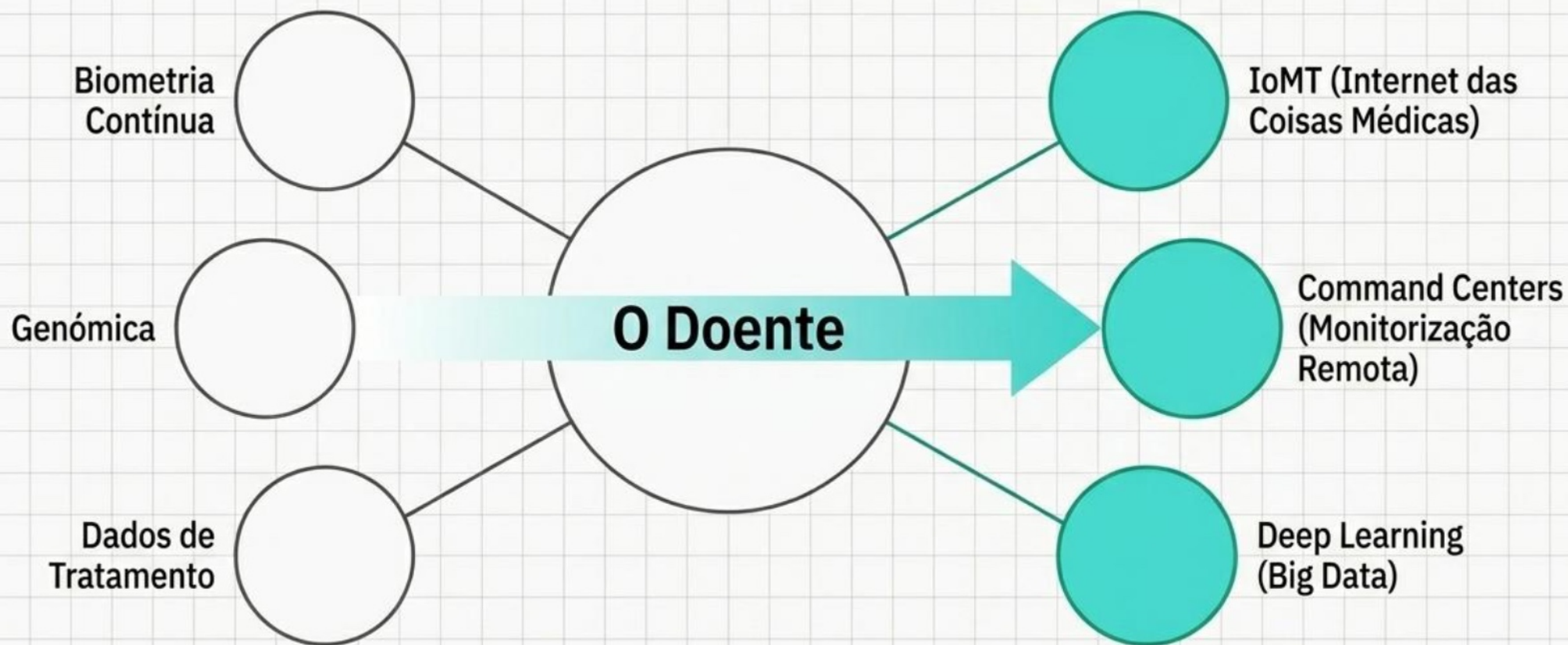
Ecossistema Contínuo.  
Telemetria em tempo real, Edge Computing e variáveis longitudinais interligadas.

### O Foco do Clínico

A Empatia Reencontrada.  
A IA Ambiental trata do registo estruturado; o médico recupera o contacto visual.

# Vetor 1: A Transição Digital

Da recolha de dados à prescrição algorítmica.





# O Ecossistema da Nefrologia Aumentada



## Pilar 1: Excelência Clínica (Cuidar Melhor)

- Modelos Preditivos e Personalização Terapêutica
- Prevenção de Hipotensão Intradialítica (IDH)
- Gestão Inteligente da Anemia (ACM)
- Sobrevida de Acessos Vasculares



## Pilar 2: Descentralização (A Clínica Invisível)

- Telemonitorização Bidirecional (RPM)
- Expansão da Diálise Domiciliária
- Autonomia do doente com ciclos de resposta atempados



## Pilar 3: Eficiência Operacional (Com Mais Eficiência)

- Automação Agêntica e Desmaterialização
- IA Ambiental na escuta ativa de consulta
- Faturação e auditoria autónoma (Touchless)

# IA hoje: três casos com CE/FDA

## Anemia Control Model

*Fresenius · NephroCare*

**-12,4%**

**hospitalizações**

Modelo de rede neuronal personaliza doses de ESA + ferro. > 20 000 doentes analisados (PSM 1:1).

*Garbelli et al. Biomedicines 2024*

## Kidney Klinrisk

*Roche · navify Suite*

**AUC 0,88**

**predição 3 anos**

Primeiro IA com marcação CE para estratificação de DRC. Validado em CANVAS/CREDENCE/FIDELITY.

*Roche · Outubro 2025*

## Vascular Access AI

*Diaverum · 12 000 doentes*

**75%**

**tromboses previstas**

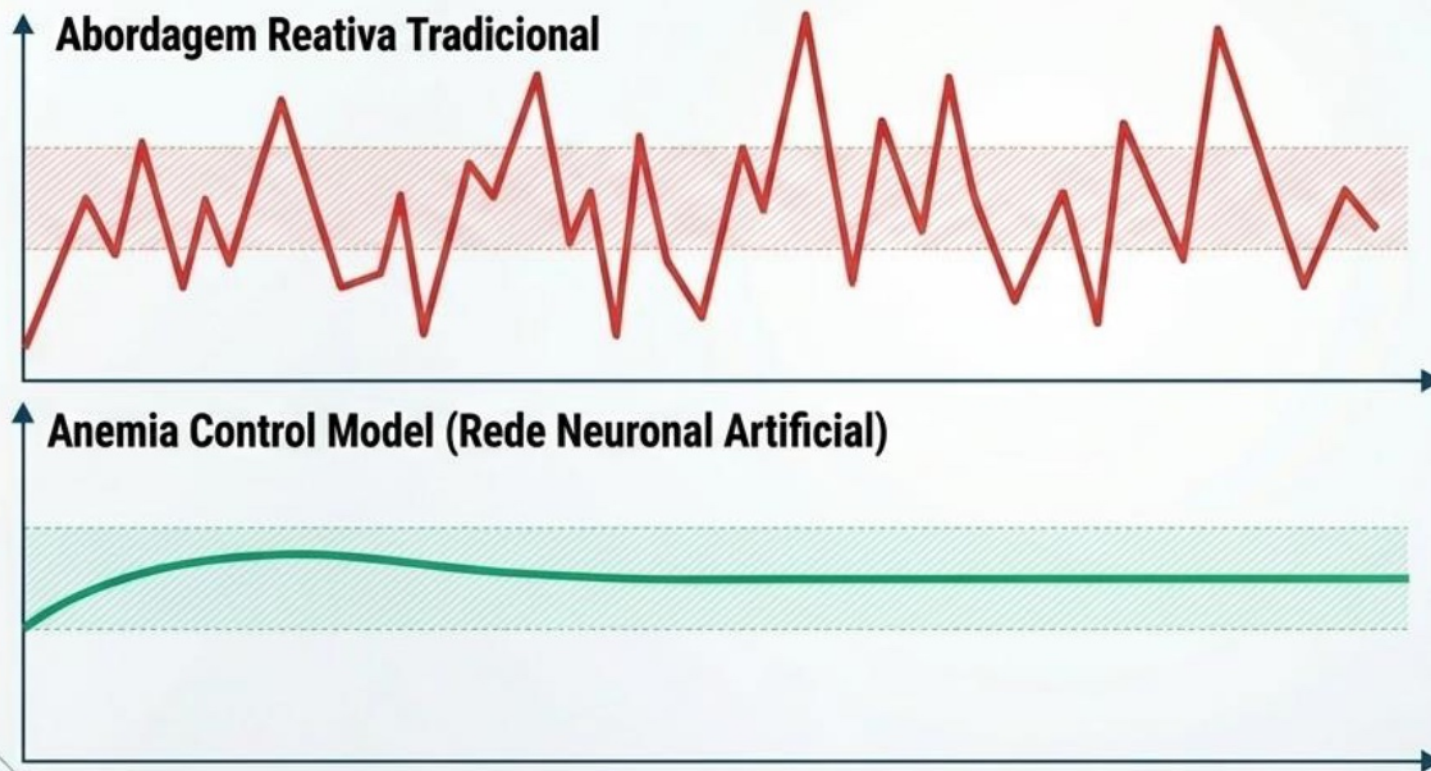
Modelo explicável integrado na plataforma d.CARE. Operação inicial em Portugal, Espanha, Arábia Saudita.

*Diaverum, Out 2021*



# Gestão de Anemia: Da Montanha-Russa à Estabilidade

A resposta fisiológica a agentes estimulantes da eritropoiese (ESA) e ferro não é linear. A mente humana tem dificuldade em processar tantas variáveis longitudinais sem criar flutuações perigosas.

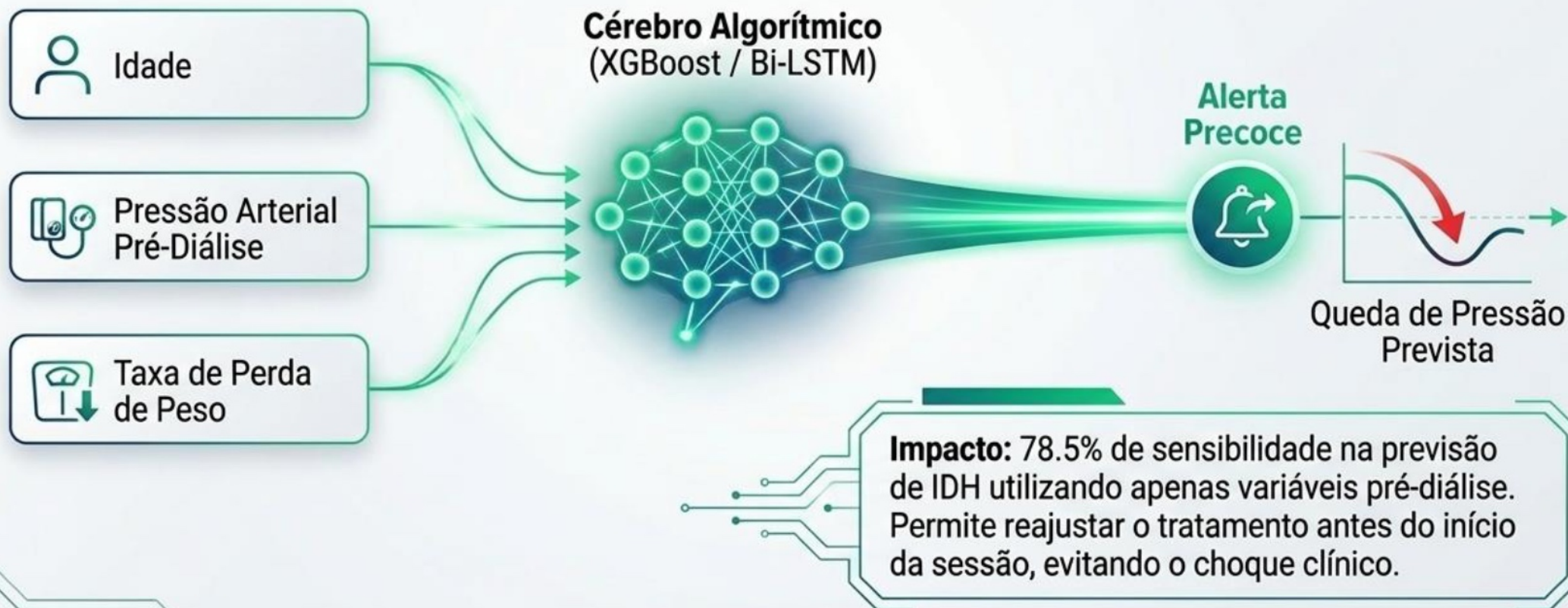


## O Modelo ACM

- Simula a relação dose-resposta específica de cada doente.
- Aumenta doentes no alvo terapêutico (Hemoglobina).
- Reduz dosagens globais de ESA administradas.
- Minimiza oscilações tóxicas.

# O Fim da Hipotensão Intradialítica (IDH) Surpresa

A IDH afeta entre 12% a 30% das sessões, exigindo reações rápidas. Modelos baseados em Deep Learning mudam o paradigma de reativo para preventivo.





# Salvaguardar o Acesso Vascular (O Salva-Vidas da Diálise)

A trombose de acessos vasculares dita internamentos e custos insustentáveis.  
O tempo é a variável crítica para salvar o acesso.



**Dia -7: Alerta Preditivo**  
(O Modelo Diaverum VA AI)

**Dia 0: Evento de Trombose**  
(Abordagem Reativa)



**1. Padrões Ocultos:** A IA integra demografia, laboratório e dados de tratamento para encontrar padrões silenciosos.



**2. O Valor do Tempo:** Previsão de eventos trombóticos até uma semana antes do episódio clínico.



**3. O Poder de Agir:** Agendamento proativo de ecografias Doppler e intervenções num ambiente controlado.



# O Impacto Real da Monitorização Remota Bidirecional

Dados apresentados na Kidney Week 2023 revelam que a conectividade contínua transforma radicalmente os outcomes na Diálise Peritoneal.

**77%**

Redução no risco de falência técnica da terapia domiciliar.

**Até  
39%**

Redução nas taxas de hospitalização (com descida até 54% nos dias de internamento).

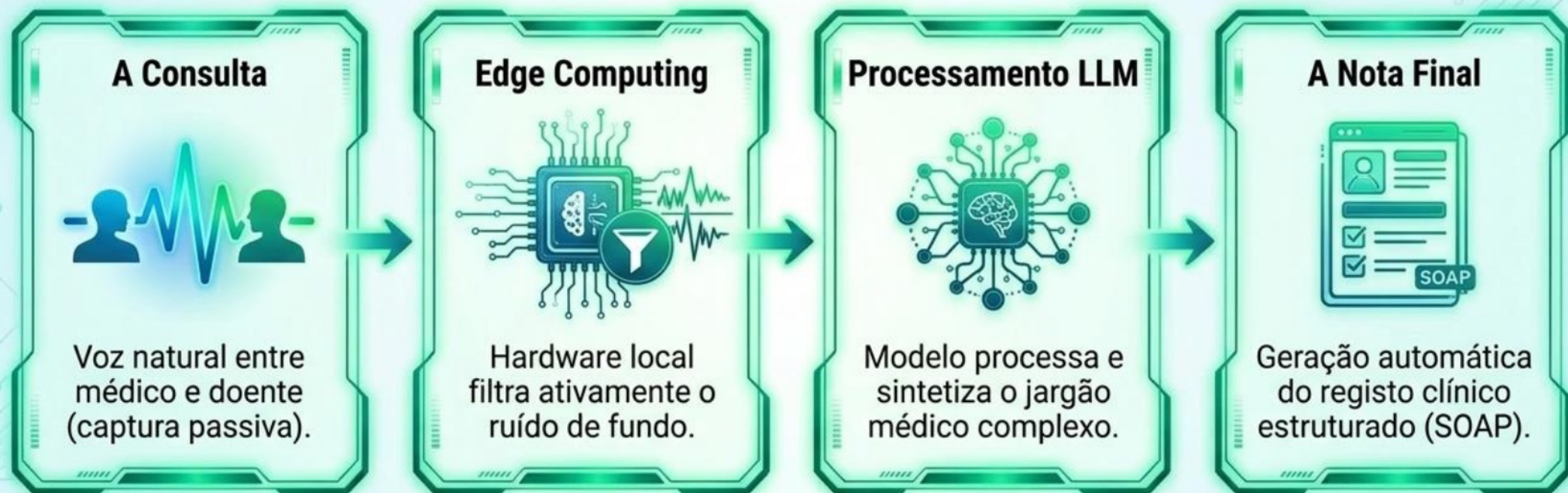
**+ 3.2  
Meses**

Aumento no tempo que os doentes permanecem na terapia durante os primeiros dois anos.



# Derrubar a Muralha do Teclado (Desmaterialização)

Como a IA Ambiental combate o burnout médico, transformando interações naturais em dados clínicos estruturados, devolvendo até 2 horas diárias ao profissional.



**Ciclos de Receita Touchless:** A automação de pré-autorizações e faturação pode reduzir os custos de cobrança administrativa entre 30% a 60%.

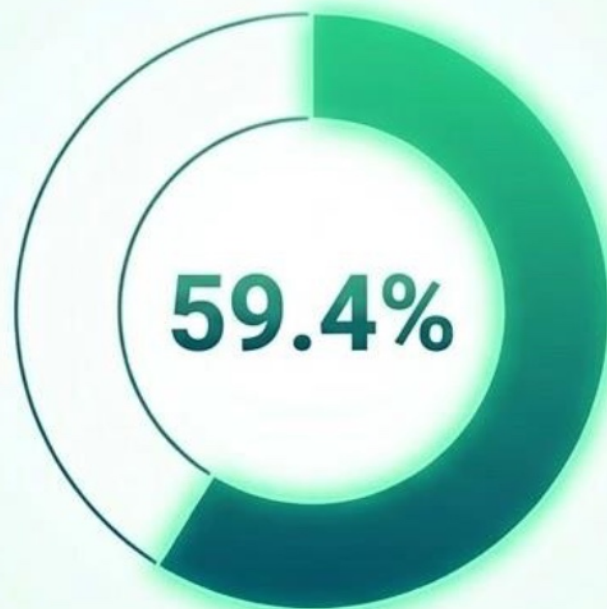


# A Voz do Nefrologista: Expectativas e Preocupações

Resultados de inquérito a 1.067 médicos da rede europeia FMC NephroCare sobre a integração da IA.

## A Promessa

59.4% concordam que a IA tem o potencial direto de suportar a decisão clínica e reduzir substancialmente os erros médicos.



## A Cautela (Limites da Máquina)

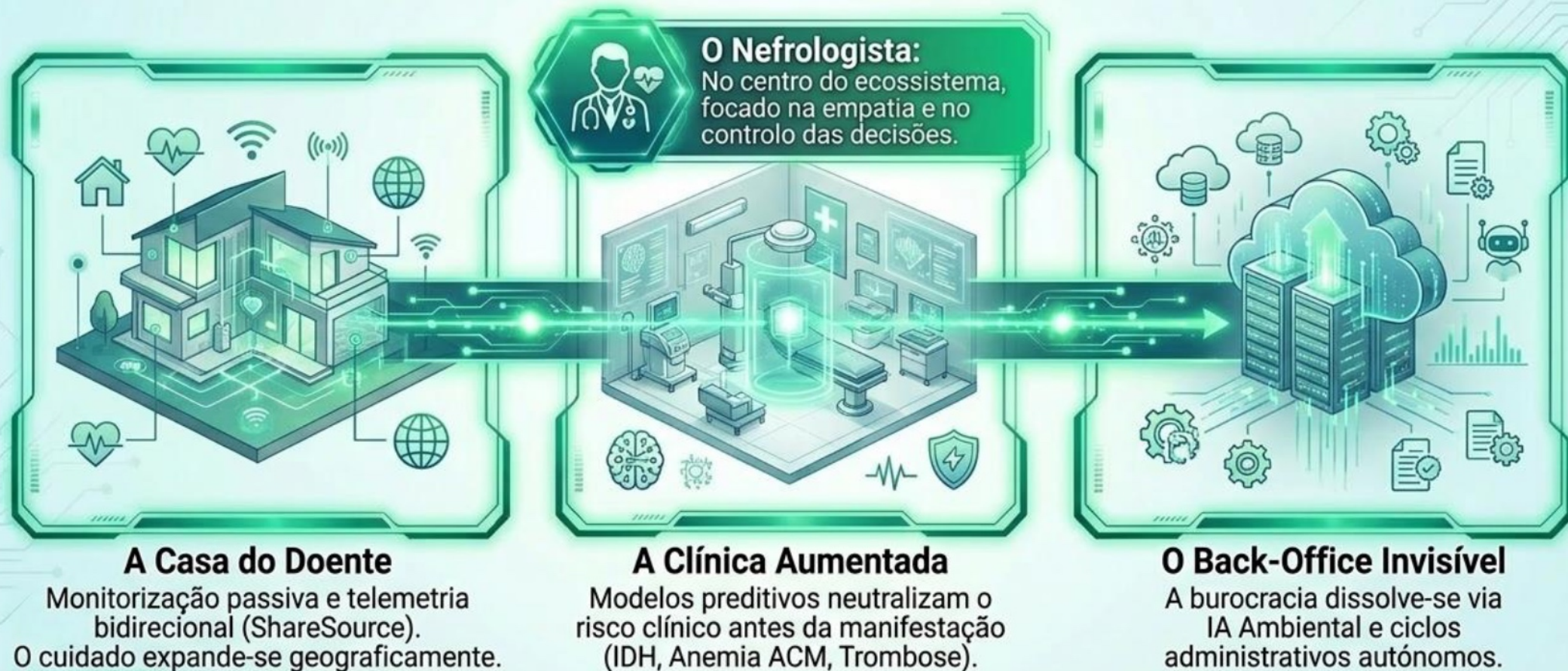
Persistem preocupações cruciais:

- Manter a consistência na personalização terapêutica.
- Garantia inviolável de privacidade e segurança.
- Preservar o aspeto puramente humano e insubstituível do cuidado médico.



# Síntese: O Ecossistema Dinâmico de 2040 (IAN)

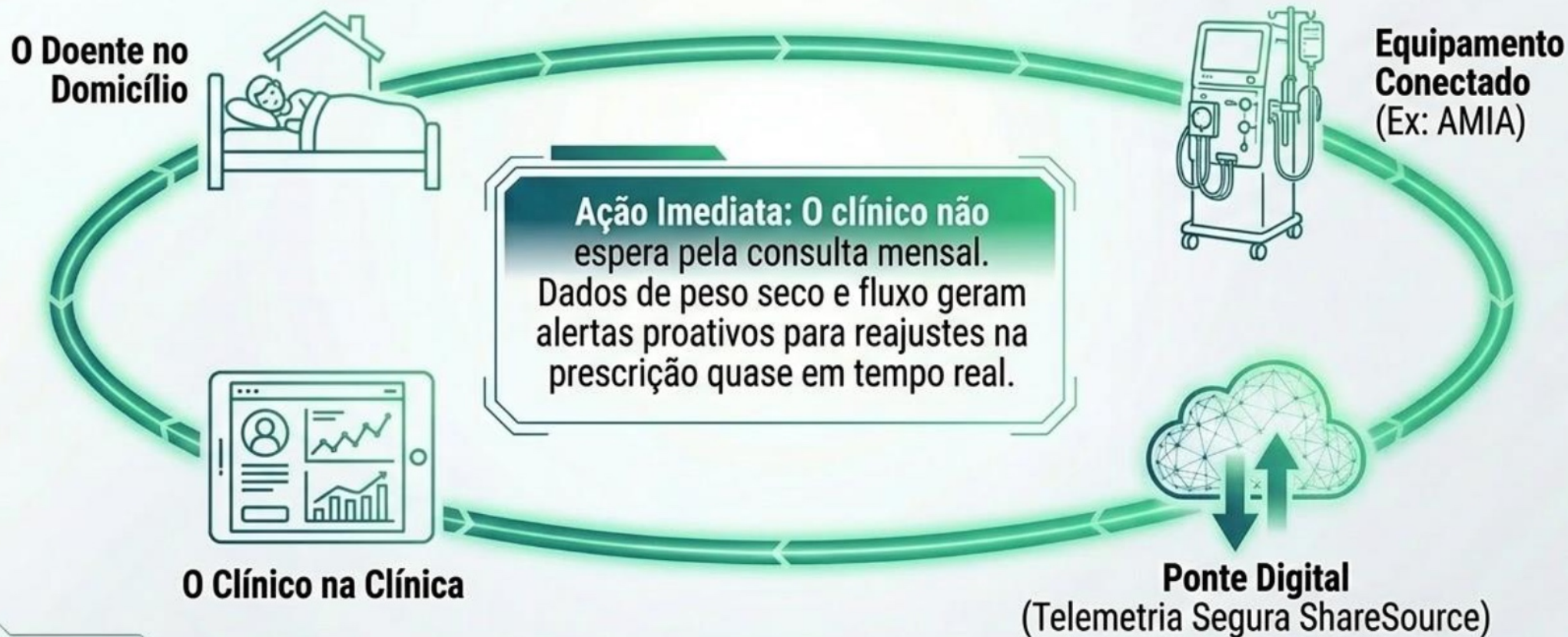
A Rede Integrada de IA (Digital Twin) que funde inovações isoladas num fluxo contínuo.





# Expandir a Clínica: Telemonitorização e Diálise Domiciliária

A diálise perde as suas fronteiras geográficas. Sistemas de monitorização remota bidirecional (RPM) garantem que o doente domiciliário nunca está invisível.





# Trazer a diálise para casa, com segurança



**BAXTER SHARESOURCE**

DP automatizada com monitorização remota

**-77%**

**risco de falha técnica em DP**

n = 232 · estudo prospetivo multicêntrico

ASN Kidney Week 2023 (#SA-PO654)

## O que isto destrava



### Mais doentes em casa

Reduz necessidade de leitos em centro



### Menos internamentos

Sanabria 2019: -33% admissões em APD com RPM



### Menor pegada de carbono

Sem viagens ~5h/semana · sem AVAC em centro



### Dados para otimização

Cada sessão alimenta os modelos de IA

# Quatro horas, três vezes por semana

*E se essas horas pudessem ser também terapia psicológica?*



## Realidade virtual

*intradialítica*

12 estudos · 625 doentes

*Kang et al. JMIR 2025*

### Resultados da meta-análise



#### Capacidade física

Melhoria significativa



#### Ansiedade

Redução significativa



#### Depressão

Redução significativa



#### Função social

Maior envolvimento



#### Auto-eficácia

Maior literacia em saúde



# Em 2026, já temos evidência para:



## Tratar melhor

- HDF alto volume (CONVINCE)
- -23% mortalidade vs HD



## Decidir melhor

- IA na anemia (ACM)
- Estratificação de risco (Klinrisk)
- Acesso vascular (Diaverum)



## Cuidar fora do centro

- DP com RPM (Sharesource)
- -77% falha técnica



## Apoiar o doente

- VR intradialítica
- -ansiedade, +bem-estar

***Nada disto é ficção científica. Tudo isto está em uso clínico ou mercado CE.***

# Gémeos digitais



Doente real



Gémeo digital

## Simular o doente antes de tratar

Modelo computacional individualizado para testar prescrições em silico — fluido, kalemia, dose, frequência — antes de aplicar.

## Onde está hoje



### Nat Rev Nephrol 2025

Laubenbacher & Hatamizadeh: "gémeos digitais são tecnologia computacional-chave para medicina personalizada em nefrologia"



### VITAL Project (Horizon Europe)

Gémeos digitais cardiovasculares · 2024–2029 · consórcio europeu



### SICATA · Andaluzia

Modelo de gémeo digital em HD · dados do registo regional · ERA 2024



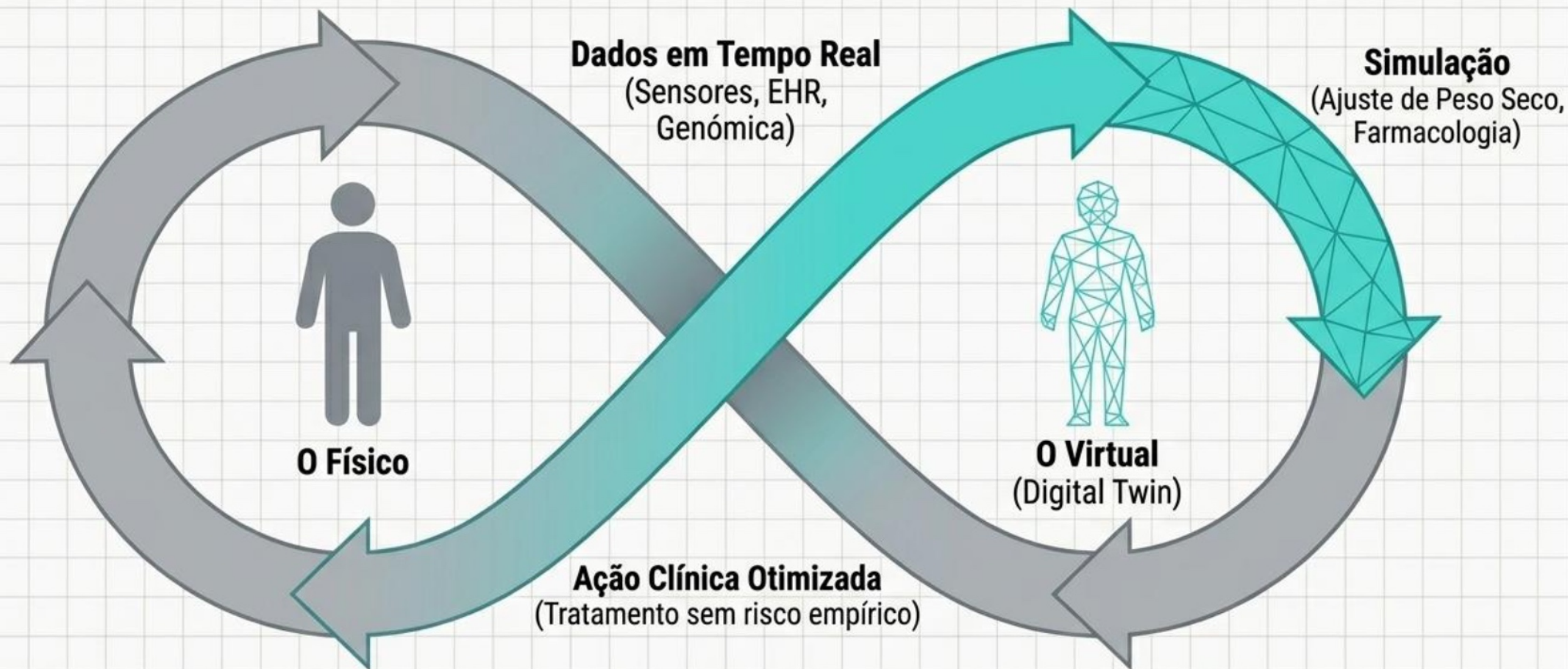
### Próximo passo

Validação clínica e integração nas máquinas (2027–2030)



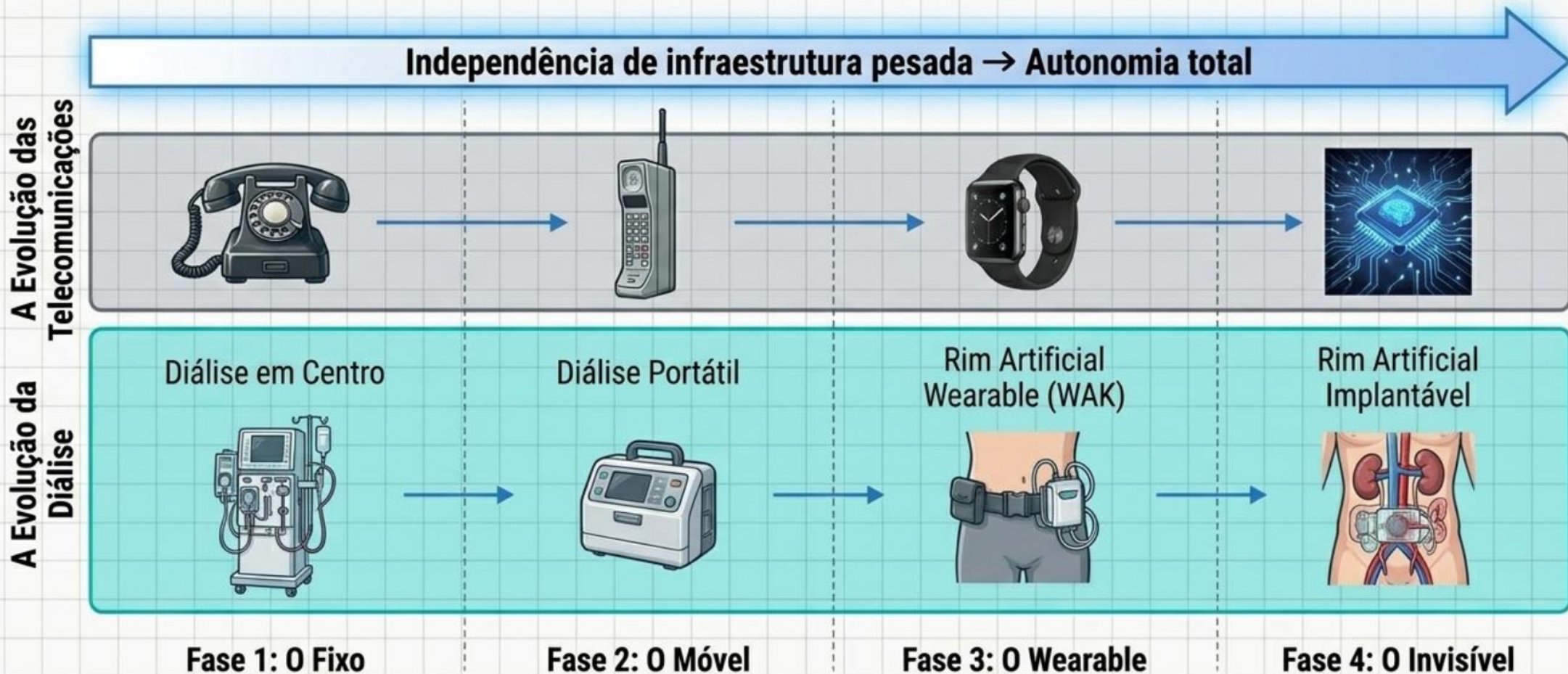
# O “Digital Twin” em Nefrologia

Simulação orgânica para medicina de precisão sem risco para o doente.



# Vetor 2: A Transição do Hardware

A miniaturização trará o efeito "Leapfrog" à Terapia de Substituição Renal.





# Diálise que cabe numa mala

*Wieringa et al. AJKD 2025: "sistemas portáteis e vestíveis estão a aproximar-se do mercado"*

## Neokidney

*Nextkidney (NL)*

10 kg · sorbente · cabe numa mala

Reduz líquido de 45 → 5 L por sessão. Em ensaio clínico FIH apresentado em ASN 2024.



**Lançamento europeu 2026–2027**

## AWAK PD

*Singapura*

Wearable peritoneal · sorbente

Single-lumen, regeneração de dialisato. Estudo de viabilidade NCT05827588 em curso.



**Pivotal trial 2026**

## Tablo (next-gen)

*Outset Medical*

Aprovado em casa · FDA 2020 / 2026

Primeiro sistema cumpre nova guideline FDA de cibersegurança (Jan 2026). Apenas tomada + água da torneira.



**Em expansão rede US Renal Care**

# Diálise verde: do conceito à prática



EU Green Deal · ERA Sustainability Strategy 2025 · obrigação reportiva crescente em 2026–2030

*Três alavancas concretas*

 **–27%**

## Reaproveitar água

HDx (Theranova) reduz consumo de água em 27% face a online HDF

*Baxter ASN 2023 #TH-PO291*

 **–17%**

## Reduzir energia

Mesma plataforma: –17% no consumo eléctrico anual

*Baxter ASN 2023*



## Reduzir transporte

DP domiciliária + telemedicina eliminam ~156 viagens/doente/ano

*Duane et al. CKJ 2025*



**Em 2040,**  
a diálise como hoje a praticamos  
*já não será a única opção.*



**Rim bioartificial**  
*implantável*



**Xenotransplante**  
*porco geneticamente editado*



**Dispositivos**  
*portáteis e domésticos*

*Vamos a três tecnologias que já têm doentes em ensaio clínico em 2025.*

# Da bancada para o doente



## Rim bioartificial

UCSF Kidney Project · Shuvo Roy

- Hemofiltro de silício +
- Bioreactor com células renais humanas
- Sem imunossupressão
- Sem anticoagulação
- Implantável · alimentado pela TA do doente

*Produção de urina demonstrada · 2025 update · FIH "2–3 anos"*



## Xenotransplante

eGenesis · United Therapeutics · NYU

- EGEN-2784 (eGenesis) · 7+ meses pós-transplante
- Tim Andrews · MGH · Jan 2025 · vive sem diálise
- IND FDA aprovado · Fase 1/2/3 em curso
- UKidney (UThx) · primeiro doente NYU · Nov 2025
- 10 edições genéticas · 24 semanas de seguimento

*EXPAND trial · NCT06878560 · pode mudar o paradigma de transplante*



# Bioimpressão de tecido renal

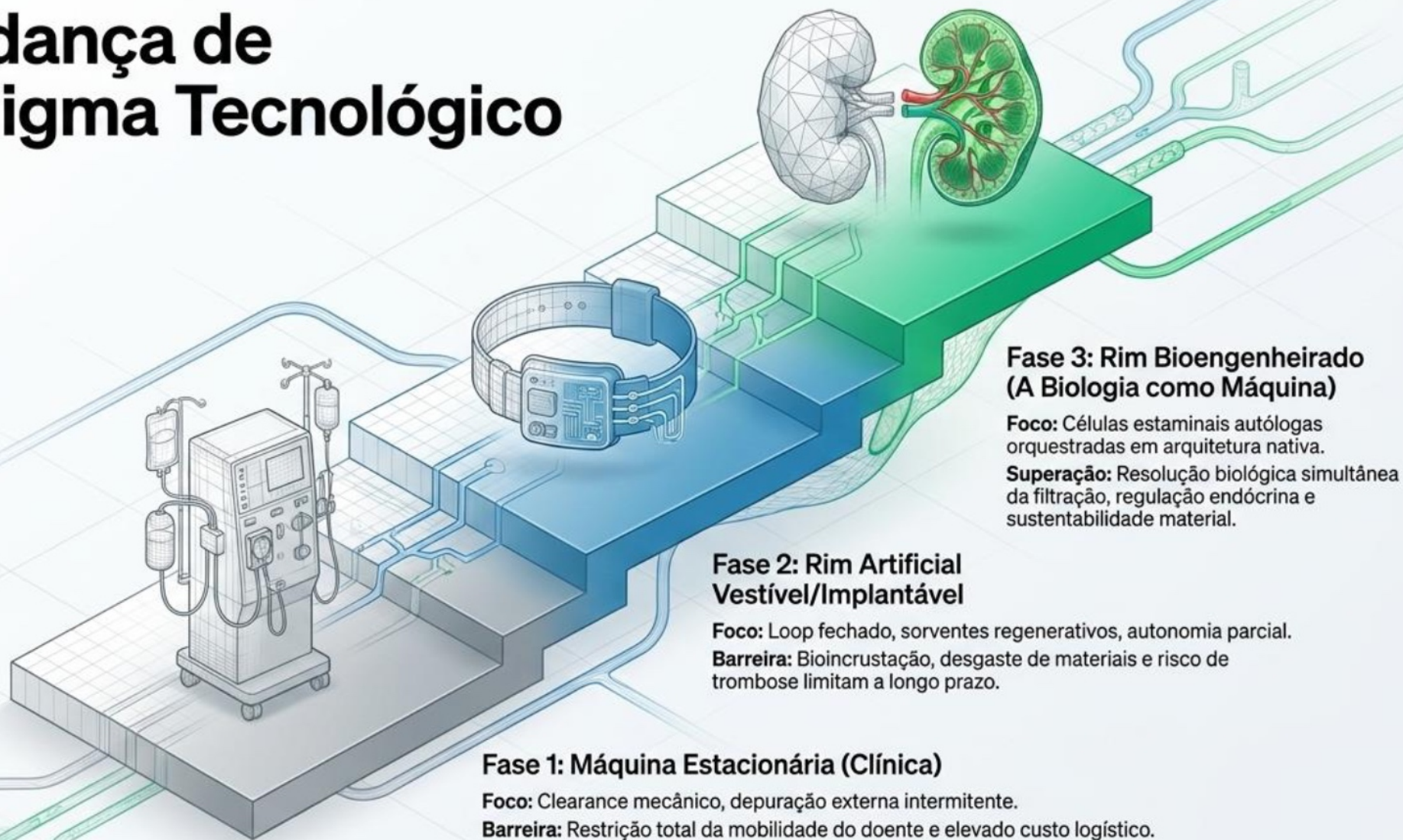
*De células estaminais a organoide renal funcional*



## Hoje

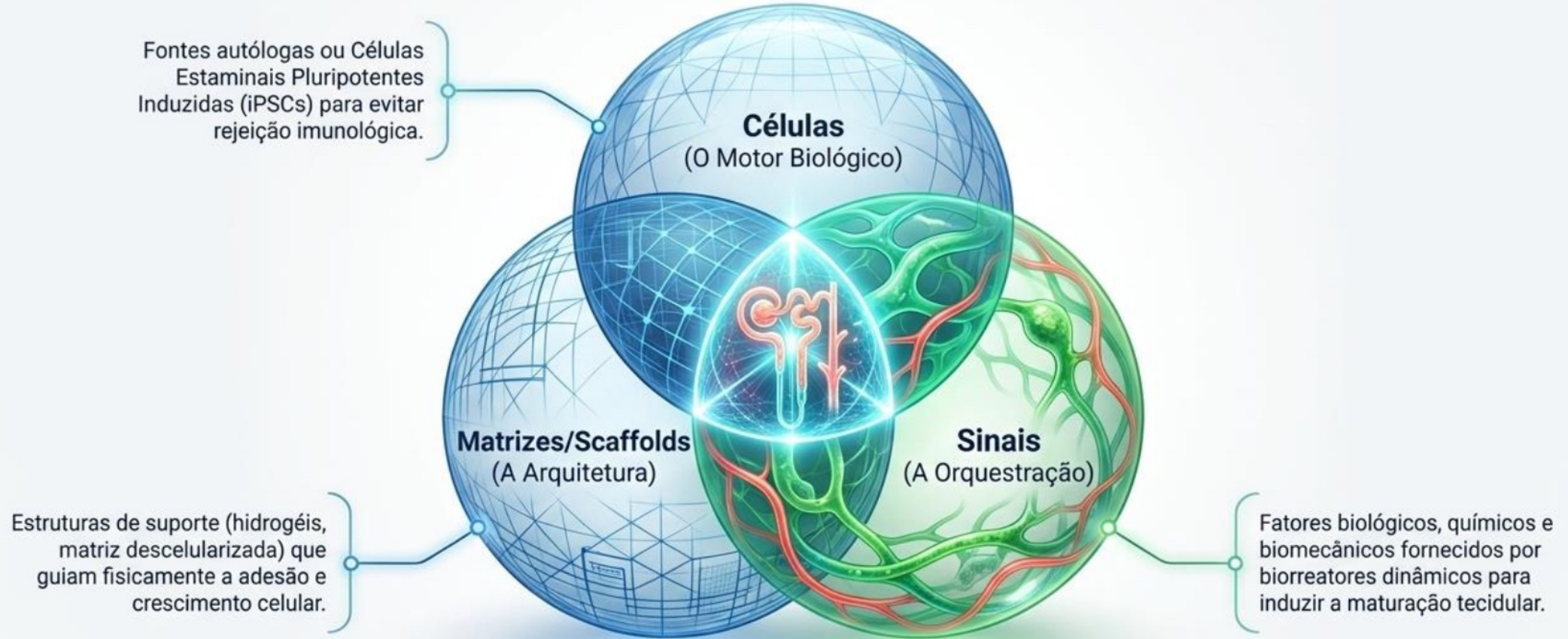
Lawlor (Nature Materials 2021) · iPSC-derived bioprinting (ScienceDirect 2024) · Microfluidic bioprinting (Biofabrication 2025) — modelos de teste, ainda não substitutos

# A Mudança de Paradigma Tecnológico





# O Blueprint da Engenharia de Tecidos Renais



O objetivo não é apenas imprimir a forma de um rim, mas criar um microambiente onde o tecido in vitro cresce e amadureça funcionalmente.



# A Revolução do 3D Bioprinting (Manufatura Aditiva)



## 1. Ficheiro Digital

Conversão de dados volumétricos (TC/RM) numa malha CAD para deposição espacial precisa das camadas.

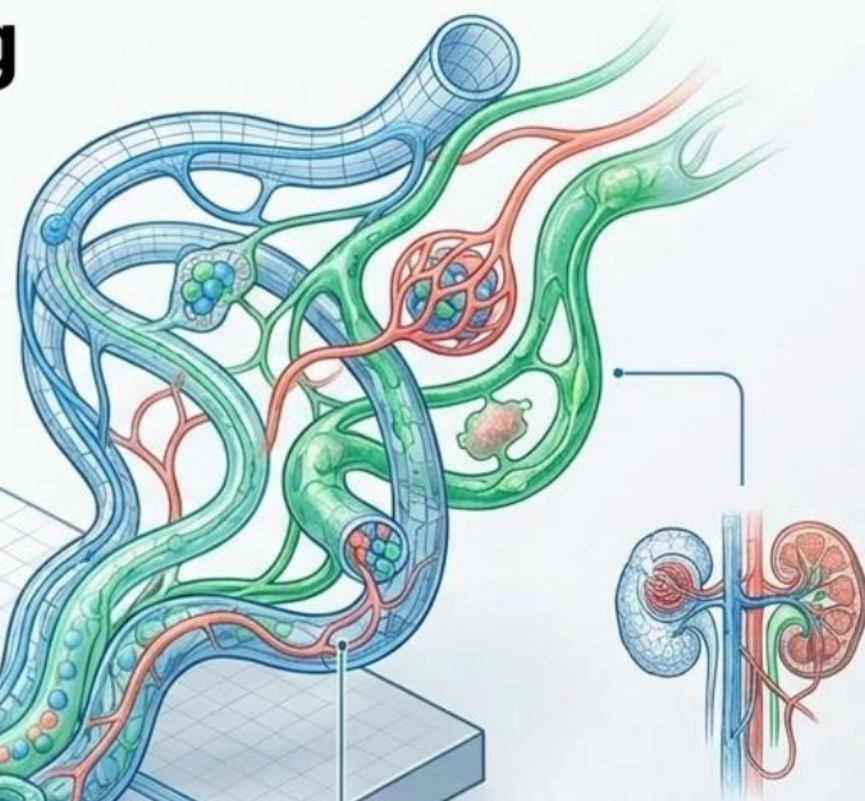


## 2. Filamento Core-Shell

A precisão microfluídica permite envolver as células progenitoras vivas num escudo protetor de alginato durante a intensa extrusão.



## 2. Filamento Core-Shell



## 3. Microarquitetura Renal

O bioprinting permite replicar estruturas complexas que potenciam exponencialmente o número e a conformação funcional dos nefrónios biológicos.



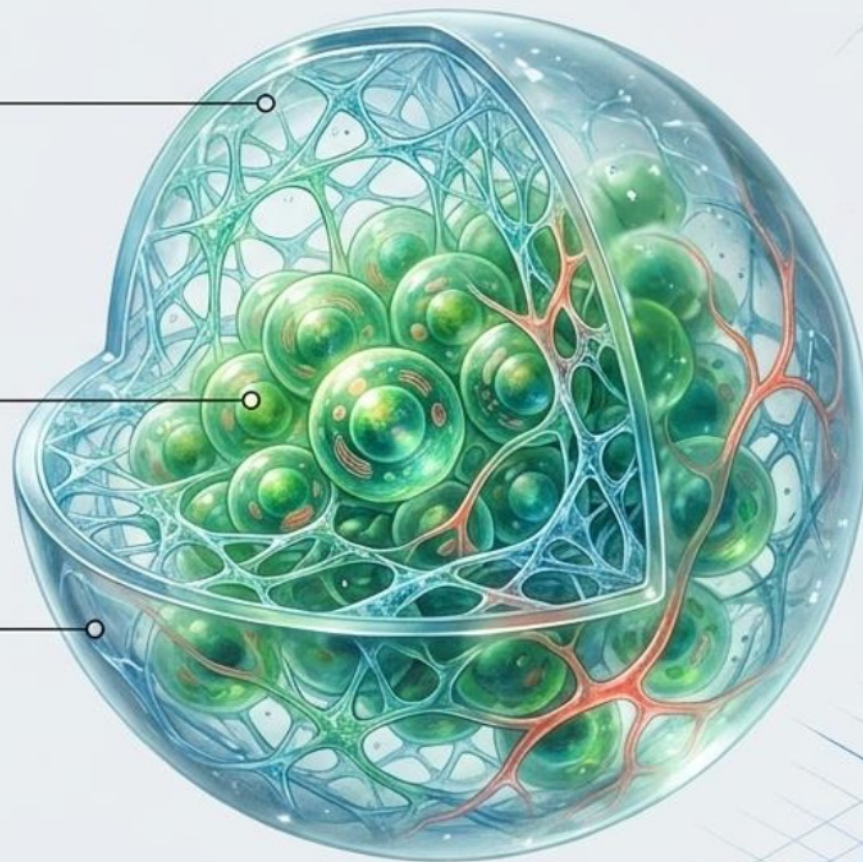
# Anatomia de uma Biotinta (Bio-inks)

A biotinta não é plástico fundido. É um microambiente vivo.

**A Estrutura Base:** Hidrogéis biocompatíveis (ex: gelatina, dECM - Matriz Extracelular Descelularizada) que conferem resistência mecânica inicial e mimetizam o estroma renal natural.

**A Carga Viva:** Células renais progenitoras extremamente viáveis derivadas do próprio doente (iPSCs).

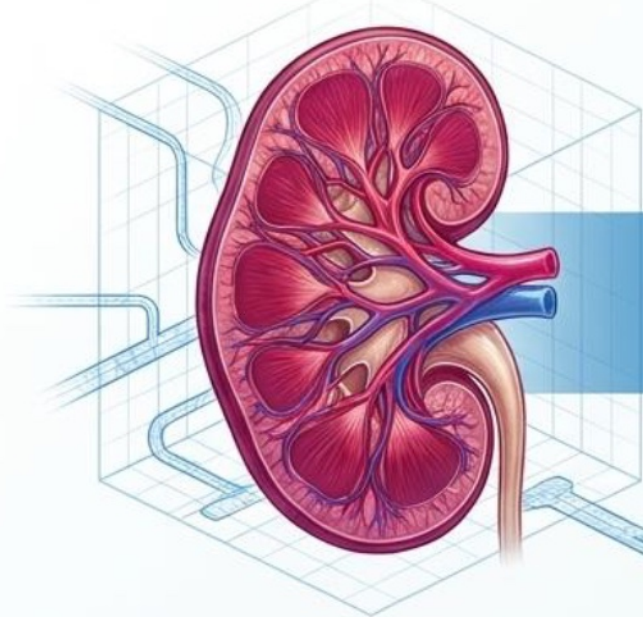
**O Escudo Reológico:** A formulação química garante elevada viabilidade celular (sobrevivência) ao mitigar o shear stress (tensão de cisalhamento) sofrido na agulha.





# Descelularização de Órgãos (A Estratégia Ghost Organ)

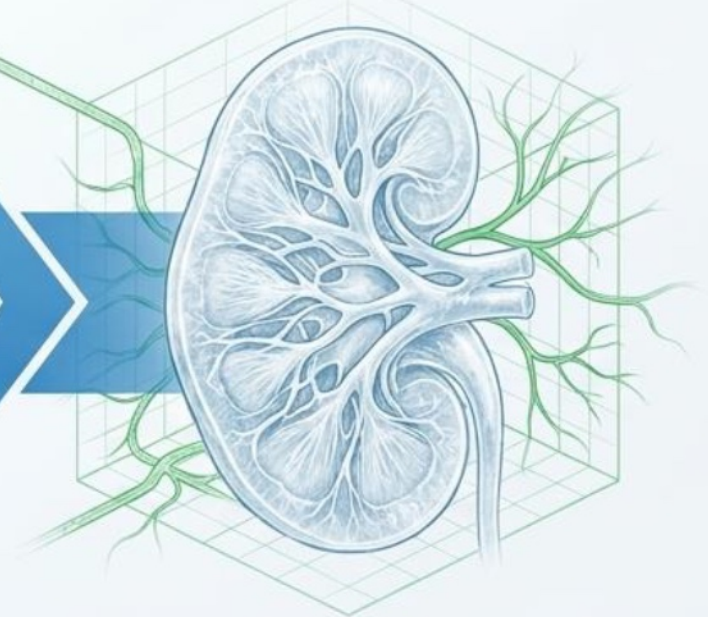
**Antes**



**Durante**



**Depois**



## **Passo 1: O Órgão Dador**

Rim animal ou humano descartado, com a sua intrincada vasculatura intacta.

## **Passo 2: Perfusão com Detergentes.**

Processo químico que lava o órgão, removendo exclusivamente as células e antígenos que causariam rejeição.

## **Passo 3: A Matriz Extracelular (dECM).**

Um molde perfeito tridimensional de colagénio e glicoproteínas estruturais originais.

**O Próximo Passo:** Este molde fantasma será repovoado (recelularizado) com células estaminais exclusivas do recetor, contornando o obstáculo crítico da vascularização microscópica de raiz.



# Organoides e Modelos Organ-on-a-Chip

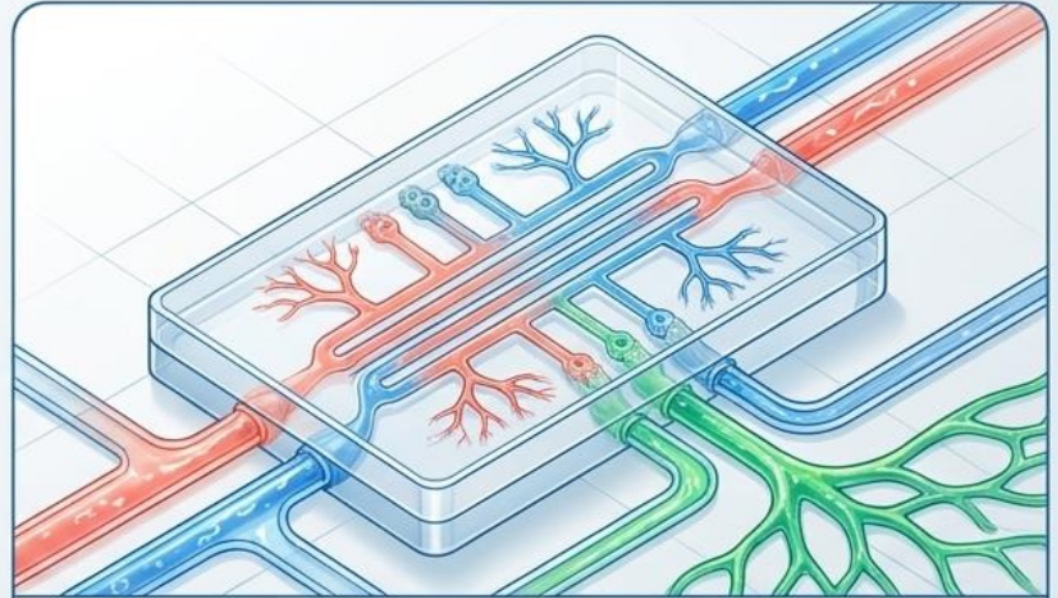


## A - Organoides Renais (Mini-rins in vitro)

Estruturas auto-organizadas derivadas de células pluripotentes.

Apresentam múltiplos tipos celulares renais formados a partir de zero.

**Impacto Atual:** Modelagem genômica de doenças raras e testes de nefrotoxicidade altamente precisos e controlados.



## B - Modelos Organ-on-a-Chip

Unem a biologia tridimensional dos organoides à microfluídica sintética.

Incorporam forças hemodinâmicas essenciais de perfusão ausentes em culturas estáticas.

**Impacto Atual:** Simulação exata da filtração glomerular e clearance farmacológico humano autêntico.

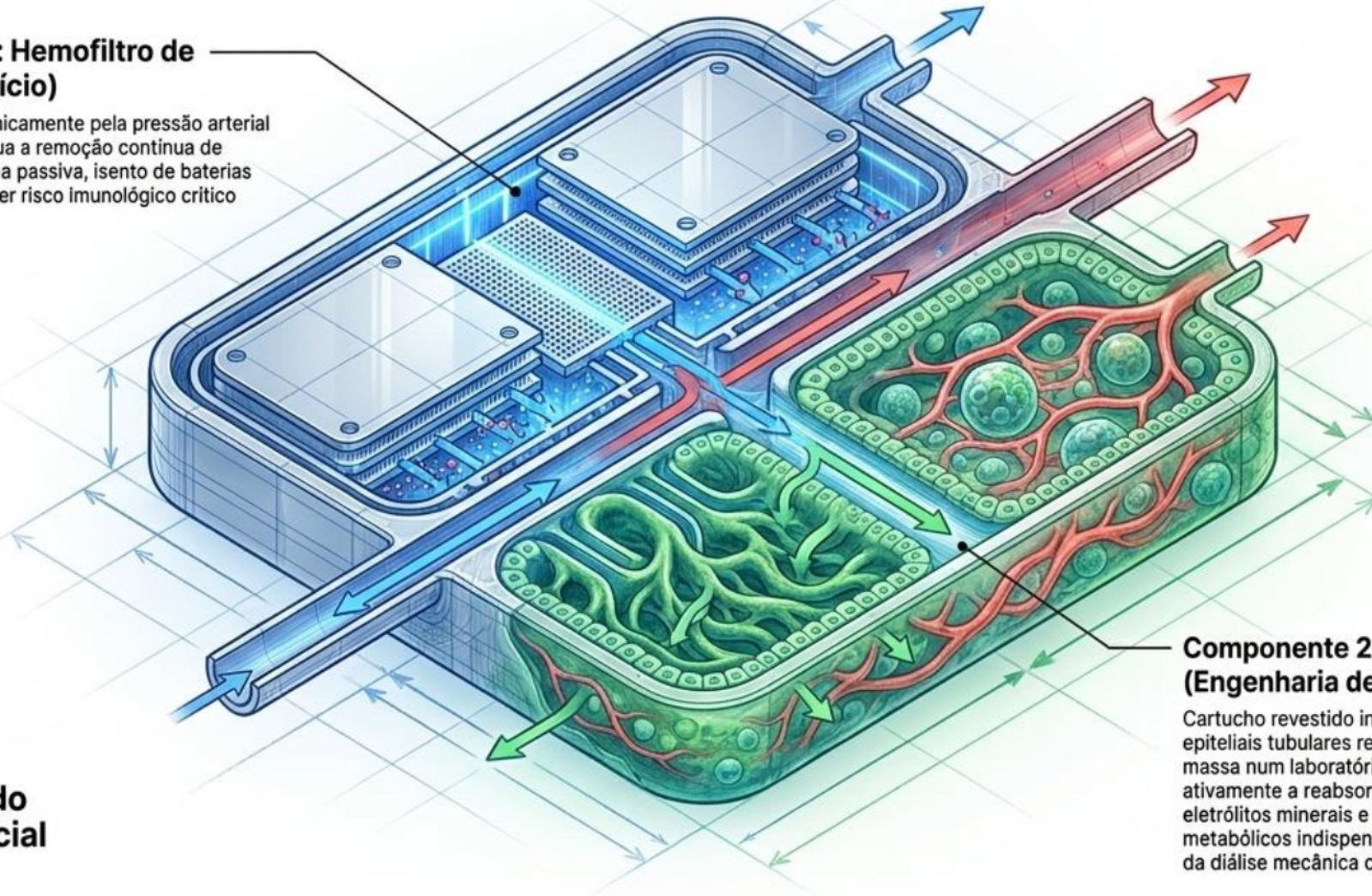


# O Rim Bioartificial: Silício fundido com Biologia

## Componente 1: Hemofiltro de Nanoporos (Silício)

Opera impulsionado unicamente pela pressão arterial nativa do doente. Efetua a remoção contínua de toxinas e água de forma passiva, isento de baterias elétricas e sem qualquer risco imunológico crítico associado.

## O Protótipo do Rim Bioartificial



## Componente 2: Biorreator Celular (Engenharia de Tecidos)

Cartucho revestido intrinsecamente com células epiteliais tubulares renais humanas produzidas em massa num laboratório. Este bioreator gere ativamente a reabsorção seletiva de água e eletrólitos minerais e produz mediadores metabólicos indispensáveis, eliminando a falha fatal da diálise mecânica contínua pura.



# Matriz de Comparação (A Evolução da Eficiência)

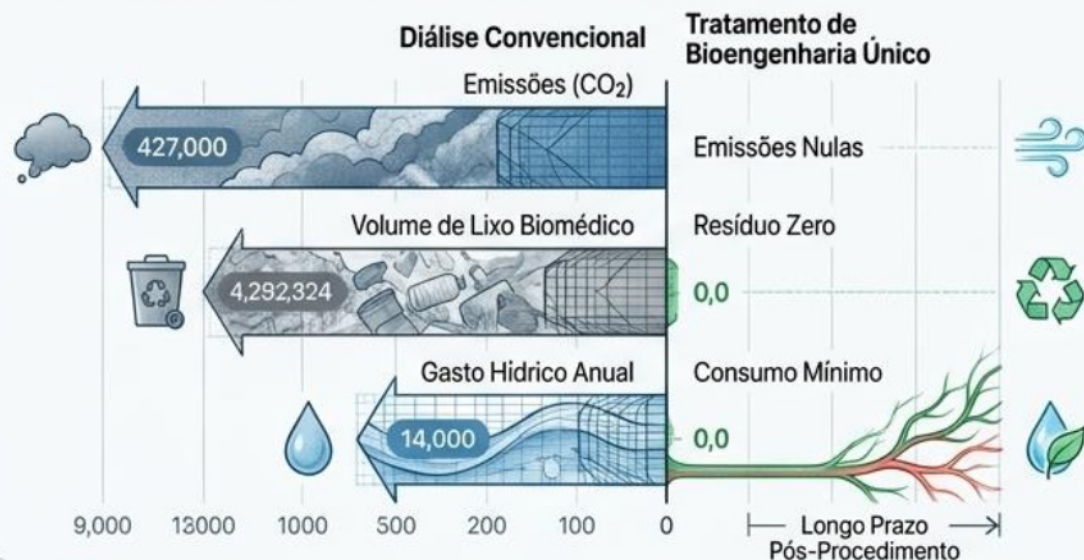


| Dimensão                             | Diálise Convencional (Centro) | Rim Artificial Vestível (WAK)   | Rim Bioengenheirado (Tecidos)                   |
|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|
| Autonomia do Doente                  | Baixa (Restrições)            | Alta (Mobilidade)               | Total (Restituição Fisiológica)                 |
| Sustentabilidade Hídrica e Plásticos | Crítica (Centenas Litros)     | Moderada (Loop Fechado)         | Eficiência Absoluta (Zero Desperdício Acoplado) |
| Eficiência de Clearance              | Limpeza Intermitente          | Clearance Contínua              | Contínua e Orgânica                             |
| Risco Imunológico                    | Inexistente (N/A)             | Moderado (Risco Bioincrustação) | Totalmente Resolvido (Células Autólogas)        |



# O Impacto Estratégico na Sustentabilidade (A Tese de 2040)

## Comparação de Danos Anuais Acumulados



## O Argumento Clínico-Ambiental:

A otimização isolada de máquinas e plásticos recicláveis reduz danos, mas o modelo subjacente de **terapia crónica e intensiva ininterrupta é inerentemente letal e agressivo para a estabilidade ambiental planetária a longo prazo.**

## A Suprema Sustentabilidade é a Tecnologia Curativa.

Substituir o tratamento contínuo crónico pela restauração biológica fisiológica pontual zera a tremenda pegada carbónica clínica e toda a extensa rede logística de suporte de um doente renal.



# Superando os Limites Técnicos Atuais

## A Barreira da Vascularização

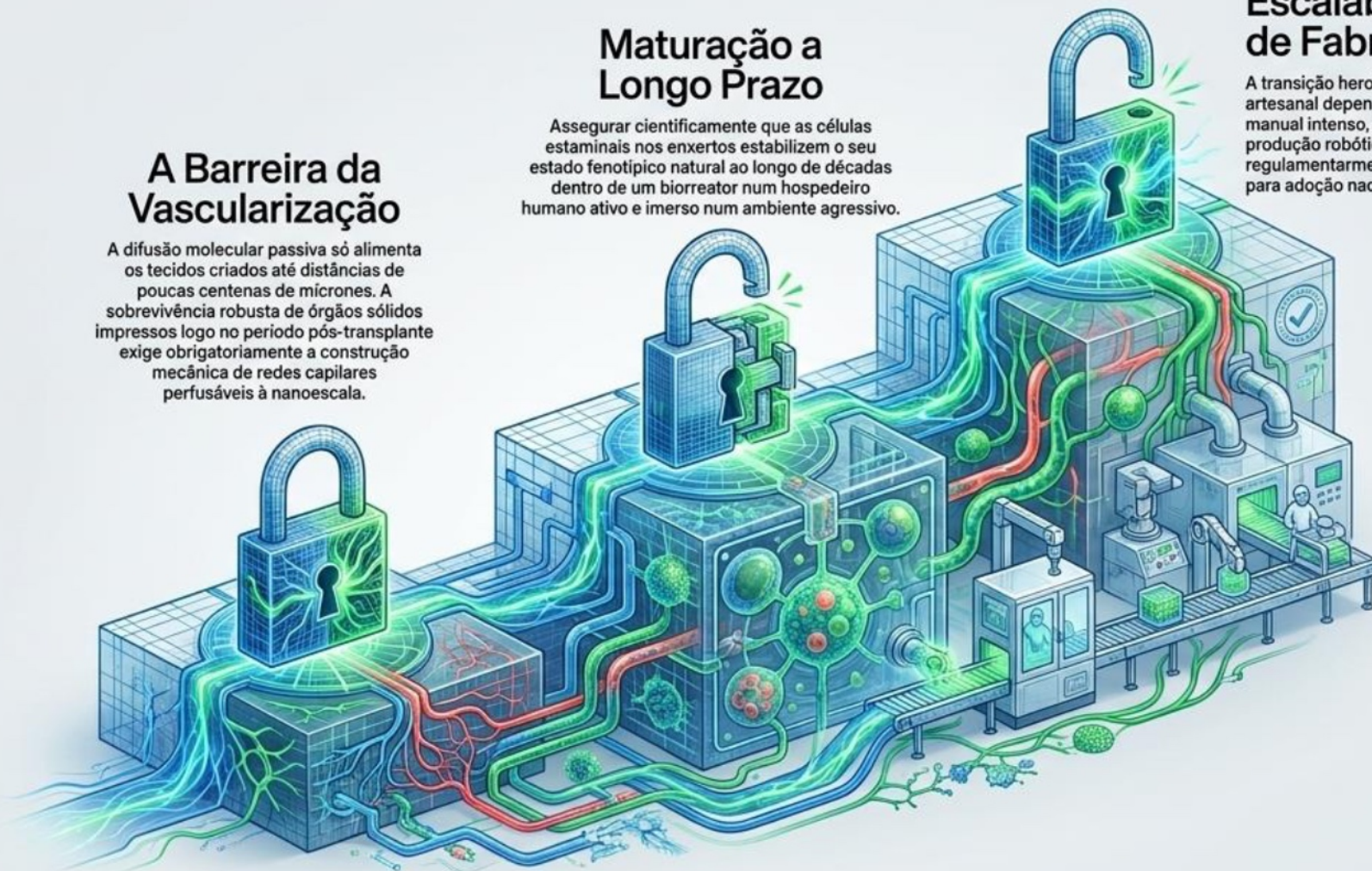
A difusão molecular passiva só alimenta os tecidos criados até distâncias de poucas centenas de micrones. A sobrevivência robusta de órgãos sólidos impressos logo no período pós-transplante exige obrigatoriamente a construção mecânica de redes capilares perfusáveis à nanoescala.

## Maturação a Longo Prazo

Assegurar cientificamente que as células estaminais nos enxertos estabilizem o seu estado fenotípico natural ao longo de décadas dentro de um biorreator num hospedeiro humano ativo e imerso num ambiente agressivo.

## Escalabilidade de Fabrico (GMP)

A transição heroica da criação experimental artesanal dependente de trabalho laboratorial manual intenso, para rigorosas linhas de produção robótica automatizadas e regulamentadamente aprovadas em escala para adoção nacional.





# Convergência Tecnológica: Dados, IA e Biologia

## Nó 2: Simulação de Mecânica de Fluidos

Os processadores de Inteligência Artificial preveem virtualmente toda a complexa tensão de cisalhamento vascular e o inerente risco de coagulação antes de sequer uma única célula biológica ser impressa fisicamente.

## Nó 1: Desenho e Geometria IA

Algoritmos digitais generativos altamente complexos otimizam a arquitetura dos scaffolds impressos, maximizando de forma não intuitiva a área de superfície glomerular por cada centímetro cúbico, indo muito além da mera cópia da anatomia natural orgânica.

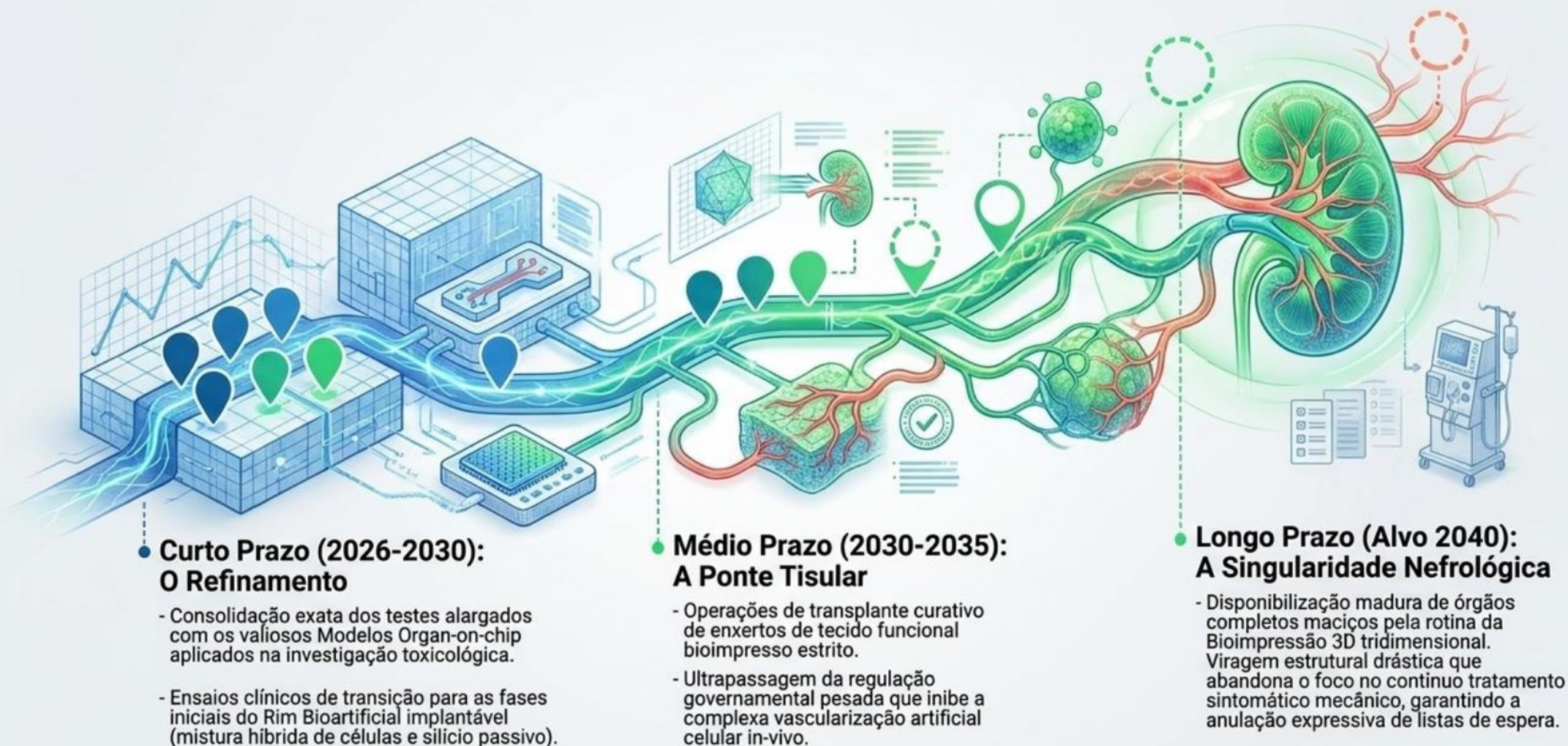
## Nó 3: O Digital Twin Biológico

Customização milimétrica da biotinta viva, alcançada através do cruzamento analítico dos biomarcadores sistêmicos específicos de cada doente, minimizando matematicamente os padrões de risco de rejeição imunitária fatal.



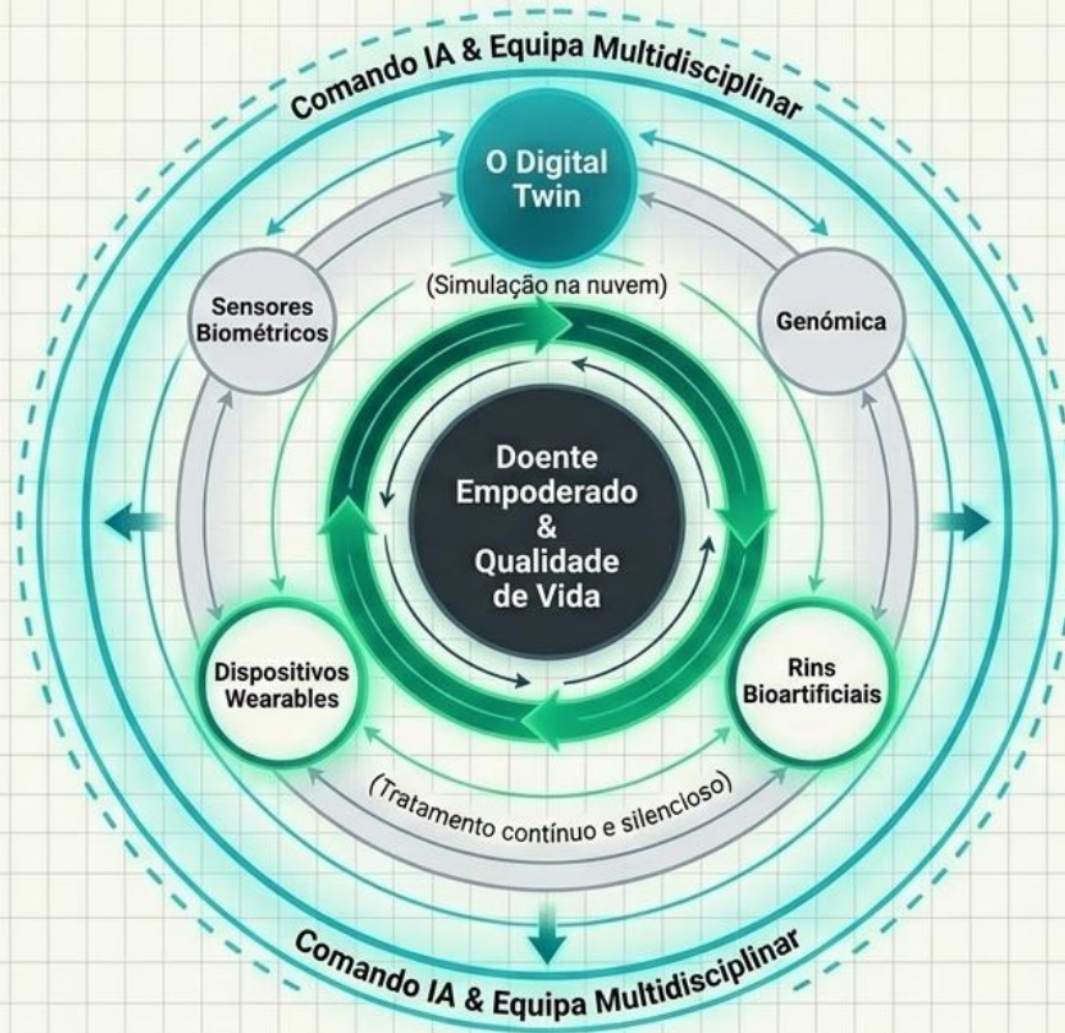


# Roadmap para a Agenda 2040





# A Síntese: O Ecossistema Renal de 2040



Algoritmos prescrevem ajustes autónomos e alertam a equipa médica apenas quando a intervenção humana é necessária.



# A tecnologia não substitui o cuidado.

Liberta tempo, atenção e julgamento clínico para o cuidado que realmente importa.

A regulação, os gémeos digitais, a bioimpressão e a diálise verde são os alicerces. O arquiteto deste futuro continua a ser o nefrologista.

O B R I G A D O

# A tecnologia não substitui o cuidado.

Liberta tempo, atenção e julgamento  
*para o cuidado que realmente importa.*



**Sérgio Laranjo**

NOVA Medical School · Hospital de Santa Marta · ULS São José

*Perguntas, discussão, colaboração: estou aqui.*