# Implantação de um Centro de Tecnologias de Reabilitação Neuromotora no Distrito Federal: P&D de Exoesqueletos Inteligentes e Validação Clínica no SUS-DF (Programa Desafio DF)

[Dúvidas Ana Paula FAPF]

[Teremos parceiros nacionais com bolsa e internacionais: abrangência nacional ou internacional do projeto, apesar do foco ser sec saúde df?]

Pode ter pagamento bolsa no período de extensão do prazo do projeto?

[Despesas acessórias de importação entram embutidas no preço do material permanente ou como serviços de terceiros? Provavelmente Unb ou FINATEC vão fazer a importação. UnB é ressarcimento, não emite nota fiscal] *[[1]](#footnote-1)*

## 1. Descrição da Realidade e Contexto da Demanda (Item 7.4)

*[7.4. Descrição da realidade que será contemplada pela parceria;]*

### 1.1. Contexto Epidemiológico e Socioeconômico do Desafio no DF

A proposta para a implantação de um Centro de Tecnologias de Reabilitação Neuromotora no Distrito Federal (DF) está fundamentada na urgência em responder a desafios críticos de saúde pública e na necessidade de mitigação dos custos socioeconômicos associados à incapacidade funcional crônica. O Acidente Vascular Cerebral (AVC) constitui a principal causa de incapacidade no Brasil, afetando aproximadamente 400 mil brasileiros com sequelas neurológicas. A alta taxa de dependência gerada é alarmante: cerca de 70% dos sobreviventes de AVC não conseguem retornar ao trabalho, e 50% requerem assistência para atividades diárias (AFPESP, 2023; De Santana et al., 2018; IBGE, 2024; Martins et al., 2023). A prevalência de AVC tem aumentado consideravelmente, com mais de 104 milhões de pessoas vivendo com suas consequências em todo o mundo, e no Brasil, o AVC já foi a principal causa de morte(De Santana et al., 2018; Martins et al., 2023). O impacto socioeconômico do AVC é notável, com a população de menor renda sendo a mais afetada, e 80% dos pacientes necessitando de atendimento no Sistema Único de Saúde (Martins et al., 2023; Oliveira et al., 2022). Além de constituir a principal causa de incapacidade funcional no Brasil, o AVC representa um desafio crítico de saúde pública no Distrito Federal. Dados recentes demonstram que o DF registrou aproximadamente 7.000 internações por AVC entre 2023 e 2025, evidenciando a magnitude do problema na região [24]. Em âmbito nacional, estima-se que cerca de 2.231.000 pessoas vivam com sequelas de AVC, sendo que 70% dos sobreviventes não retornam ao trabalho devido às limitações funcionais [30].

Adicionalmente, a lesão medular afeta cerca de 40 mil brasileiros, com a maioria dos casos resultando de acidentes traumáticos (Martins et al., 2023; Santos et al., 2022). A incidência de lesão medular traumática no Brasil varia de 16 a 26 casos por milhão/ano, afetando principalmente homens jovens (Andrade et al., 2019; Faleiros et al., 2024, 2025).

### 1.2. Mapeamento da Rede de Reabilitação e Gargalos Tecnológicos no SUS-DF

A rede pública de saúde do DF enfrenta uma lacuna tecnológica significativa no que tange à aplicação de dispositivos robóticos de reabilitação neuromotora de ponta. Os exoesqueletos representam o estado da arte para pacientes em fase de recuperação funcional, enquanto andadores robóticos atendem população mais ampla com distúrbios de marcha.

Embora os exoesqueletos robóticos de segunda e terceira geração sejam promissores para restaurar a locomoção e mitigar complicações da imobilidade, seu alto custo de aquisição e a necessidade de treinamento especializado limitam drasticamente sua acessibilidade em ambientes clínicos e domésticos, especialmente no Sistema Único de Saúde (Banyai; Brișan, 2024; Laparidou et al., 2021; Nicora et al., 2024). Os dispositivos robóticos servem como ferramentas complementares às terapias tradicionais, oferecendo interações terapêuticas consistentes, repetitivas e personalizadas, além de permitir a avaliação objetiva do progresso do paciente (Diaz; Borrás Pinilla; García Cena, 2025). No entanto, desafios significativos persistem em sua implementação e eficácia, exigindo estratégias para expandir a conscientização do mercado, remover barreiras de entrada para a indústria e estabelecer mecanismos de financiamento dedicados (Diaz; Borrás Pinilla; García Cena, 2025). A falta de acesso e financiamento são questões chave que impedem as pessoas de acessar a reabilitação robótica (Laparidou et al., 2021). A adoção dessas tecnologias é dificultada pelos altos custos, pela necessidade de treinamento especializado e pela acessibilidade limitada (Banyai; Brișan, 2024). O impacto da robótica de reabilitação não tem sido inclusivo, e o acesso aos benefícios potenciais dessas tecnologias é desigual, sendo os equipamentos caros e disponíveis principalmente em países de alta renda (Johnson; Mendonca, 2023).

## 2. Introdução, Justificativa e Hipóteses Centrais (Item 7.5)

[7.5. Introdução com os principais objetivos e hipóteses que nortearão o projeto;]

### 2.1. Oportunidade e Justificativa: A Evolução para Exoesqueletos Acessíveis

Como visto, a rede do SUS carece de: (i) infraestrutura tecnológica para reabilitação robótica; (ii) expertise técnica e clínica em tecnologia assistiva avançada; (iii) protocolos clínicos validados; (iv) modelos de sustentabilidade. Por essas razões, propomos uma abordagem complementar com dois dispositivos: um exoesqueleto para pacientes com maior potencial funcional e um andador robótico para população mais ampla, maximizando cobertura assistencial e aprendizado tecnológico.

O momento atual é estratégico para o investimento em reabilitação neuromotora. Os exoesqueletos evoluíram significativamente, incorporando materiais leves, inteligência artificial (IA) e interfaces neurais, transitando da primeira geração (dispositivos de suspensão, como o Lokomat) para a segunda (assistidos, como ReWalk e Ekso) e a terceira (inteligentes, como FourierX2). A justificativa primordial deste projeto é utilizar a *expertise* do Laboratório de Automação e Robótica (LARA) da Universidade de Brasília (UnB) para capturar esses avanços, agindo como um **indutor de inovação** e consolidando o DF como referência nacional em tecnologia assistiva.

O projeto se alinha com o Edital Desafio DF ao focar na Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P&D) que gere impacto direto na política pública. É importante destacar que esta proposição não se restringe à aquisição de tecnologias importadas, mas ao desenvolvimento soberano de soluções adaptadas à realidade socioeconômica local, fortalecendo a autonomia tecnológica do DF e mitigando a dependência de fornecedores externos, conforme o modelo de sucesso do centro R2D2 na Índia (Sujatha; Bapat; Dash, 2021).

O impacto da imobilidade prolongada estende-se a complicações secundárias, como atrofia muscular, redução da circulação, espasticidade e perda de densidade óssea, além de gerar um custo emocional e financeiro significativo para as famílias e o sistema de saúde (Andrade et al., 2019; Rodríguez-Fernández; Lobo-Prat; Font-Llagunes, 2021). Globalmente, os custos anuais com lesões medulares podem ultrapassar US$ 9,7 bilhões nos EUA, e a incidência tem sido heterogênea devido a diferentes métodos de coleta de dados e estruturas socioeconômicas (Jazayeri et al., 2023; Safdarian et al., 2023). O início da reabilitação afeta diretamente a eficácia do tratamento, e muitos brasileiros com lesão medular enfrentam um tempo médio de 17,68 meses para iniciar a reabilitação(Faleiros et al., 2025). Outras condições neurodegenerativas, como a Esclerose Múltipla e a Doença de Parkinson, também representam uma população crescente que se beneficiaria substancialmente de tecnologias avançadas de assistência e reabilitação.

A ineficiência da reabilitação tradicional, muitas vezes devido à limitação de recursos e à escala necessária para o tratamento, culmina em uma dependência assistencial que sobrecarrega a rede pública (Laparidou et al., 2021). A intervenção tecnológica, focada no desenvolvimento local de soluções acessíveis, configura-se, portanto, como uma estratégia de longo prazo não apenas para a melhoria clínica, mas também para a sustentabilidade da saúde pública no DF. Ao promover a autonomia e o retorno à produtividade dos pacientes, este projeto se estabelece como uma política pública que busca reduzir a carga financeira da incapacidade permanente. De fato, todas as condições neurológicas descritas na Seção 1, incluindo acidente vascular cerebral (AVC), lesão medular e Parkinson, compartilham a necessidade crítica de reabilitação neuromotora especializada e prolongada. O presente projeto, vinculado à Chamada Pública nº 03/2025, visa explicitamente sanar essa deficiência, conforme o objetivo 3.3.1 da Chamada: "Levantar a situação epidemiológica... e mapear a rede de reabilitação do DF, gerando subsídios para planejamento" por meio da implantação de um Centro de Tecnologias de Reabilitação.

A implantação deste Centro no Distrito Federal é fundamentada em objetivos estratégicos de saúde pública, visando à redução da incapacidade funcional de pacientes pós-AVC e outras condições neurológicas, bem como ao mapeamento epidemiológico das demandas na região integrada de desenvolvimento (RIDE) e no DF (cf. Seção 1). Esta iniciativa responde à urgência de modernizar a assistência em reabilitação neuromotora, fortalecer a autonomia tecnológica local mediante a incorporação de tecnologias avançadas, como exoesqueletos, realidade virtual e interfaces cérebro-máquina e estruturar um modelo sustentável de governança que beneficie entre 1.500 a 2.000 pacientes ao ano, enquanto mitiga os custos socioeconômicos da incapacidade funcional crônica e posiciona o Distrito Federal como polo nacional de inovação em tecnologia assistiva. Adicionalmente, o Centro contribuirá para a formação de pelo menos 25 pós-graduandos em cinco anos e para o fomento à propriedade intelectual e criação de startups locais, consolidando o DF como polo nacional de inovação em tecnologia assistiva

Esta abordagem fortalece a autonomia tecnológica do Distrito Federal, reduz a dependência de fornecedores externos e promove a geração de propriedade intelectual e startups locais, alinhando-se aos objetivos estratégicos da Chamada de posicionar o DF como polo nacional de inovação em tecnologia assistiva, simultaneamente viabilizando o acesso equitativo e sustentável a soluções de reabilitação neuromotora de qualidade, conforme o modelo de sucesso do centro R2D2 na Índia (Sujatha; Bapat; Dash, 2021).

Em resumo, o projeto se alinha estrategicamente com os objetivos da Chamada Pública nº 03/2025 do Programa Desafio DF, focando em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) que gere impacto transformador nas políticas públicas de saúde e reabilitação neuromotora do Distrito Federal. Diferentemente de destinação de recursos exclusivamente para importação de número limitado de dispositivos comerciais, a estratégia proposta prioriza o fortalecimento da autonomia tecnológica local mediante construção de capacidade institucional para projeto, prototipagem e validação clínica de soluções inovadoras e acessíveis em reabilitação neuromotora. Esta abordagem permite que os resultados da pesquisa sejam posteriormente escalados pelo Governo do Distrito Federal através de mecanismos de fomento à inovação aberta já estruturados, tais como Encomendas Tecnológicas (ETEC), Chamadas Públicas para Soluções Inovadoras (CPSI) e parcerias com startups e spin-offs locais garantindo assim, a sustentabilidade e impacto a longo prazo. O orçamento de R$ 2.912.000,00 é assim otimizado para maximizar o retorno em termos de conhecimento gerado, propriedade intelectual desenvolvida, formação de recursos humanos qualificados (pelo menos 25 pós-graduandos em cinco anos) e posicionamento do DF como polo nacional de inovação em tecnologia assistiva, simultaneamente assegurando benefício direto anual estimado de 1.500 a 2.000 pacientes através da validação clínica em serviços de referência integrados à rede pública.

Em consequência, este projeto materializa decisão estratégica de transformar pesquisa acadêmica em inovação aplicada mediante **abordagem complementar e dual**: (1) **Aquisição de exoesqueleto comercial de ponta** com subsequente absorção tecnológica, domínio operacional e adaptação/melhoria para exigências locais; (2) **Desenvolvimento autóctone de andador robótico inteligente** acessível e adaptado ao SUS-DF.

A justificativa fundamental para esta estratégia dual reside na compreensão de que a reabilitação neuromotora não é uma solução única, mas um ecossistema de tecnologias complementares, cada uma atendendo a necessidades específicas de populações distintas. O exoesqueleto comercial, com sua sofisticação tecnológica e validação clínica internacionalmente reconhecida, oferece uma oportunidade imediata para atender pacientes em fases agudas e subagudas de recuperação, particularmente aqueles com potencial significativo de ganho funcional. Por outro lado, o desenvolvimento de um andador robótico inteligente permite criar uma solução inovadora que serve a uma população muito mais ampla, incluindo idosos, pacientes crônicos e aqueles com progressão lenta da doença.

A abordagem dual oferece múltiplas vantagens estratégicas. Primeiro, proporciona **cobertura assistencial ampla e eficiente**: enquanto o exoesqueleto atende a um pequeno grupo de alta demanda funcional (estimado entre 50-80 pacientes/ano no SUS-DF), o andador robótico alcança uma população massiva de 1.200-1.700 pacientes/ano com diferentes etiologias de distúrbios de marcha. Esta diferenciação permite utilização otimizada de recursos: um único exoesqueleto de alto custo (R$ 450 mil) é suficiente para a demanda identificada, enquanto múltiplos andadores robóticos podem ser produzidos localmente com custo progressivamente menor à medida que há aprendizado de manufatura.

Segundo a estratégia dual maximiza o **aprendizado tecnológico institucional**. O domínio de um exoesqueleto comercial requer compreensão profunda de engenharia sofisticada, algoritmos de controle de tempo real, interfaces biomecânicas avançadas e integração de múltiplos sensores. Este conhecimento, obtido mediante treinamento com fabricante, documentação técnica e engenharia reversa responsável, alimenta retroativamente o desenvolvimento do andador robótico, acelerando soluções e evitando reinvenção desnecessária. Inversamente, soluções inovadoras desenvolvidas para o andador robótico (particularmente em algoritmos de detecção de intenção e controle adaptativo) podem ser estudadas para possível integração no exoesqueleto através de firmware updates e customizações.

Terceiro, a abordagem dual oferece **viabilidade econômica diferenciada**. Enquanto um exoesqueleto comercial importado custa entre R$ 400-500 mil e tem custo operacional alto (manutenção, peças, calibração), o andador robótico em desenvolvimento local pode ser produzido com investimento progressivamente menor (estimado em R$ 40-60 mil por unidade após prototipagem inicial), com custos operacionais radicalmente reduzidos (componentes brasileiros, manutenção simplificada). Esta combinação permite ao SUS-DF oferecer tecnologia de ponta a ambas as populações dentro de restrições orçamentárias realistas.

Quarto, a estratégia dual diferencia **modelos de transferência tecnológica**. O exoesqueleto comercial será transferido para futuras aquisições via **Encomendas Tecnológicas (ETEC)** pelo SUS-DF, com aprimoramentos e customizações locais documentados. O andador robótico, por sua vez, será transferido via **Chamadas Públicas para Soluções Inovadoras (CPSI)** e possíveis **spin-offs de startups** para manufatura e distribuição. Esta diversidade de modelos reduz risco de dependência de um único mecanismo de transferência e cria ecossistema robusto de inovação.

Quinto, a abordagem dual permite **estruturação de Centro integrado mais atraente**. Um centro que oferece apenas exoesqueleto comercial seria dependente de fornecedor estrangeiro, com expertise limitada à operação. Um centro com ambas tecnologias emerge como **hub de inovação em reabilitação neuromotora**, capaz de atrair pesquisadores, alunos, investidores e parcerias internacionais, consolidando o DF como polo nacional de tecnologia assistiva.

### 2.2. Hipóteses Científicas Centrais

Este projeto repousa em três níveis de hipóteses científicas, cada um atendendo a diferentes aspectos da estratégia dual:

**Hipótese Principal de Exoesqueleto:** Domínio operacional de exoesqueleto comercial, complementado por adaptações e otimizações para o contexto socioeconômico, clínico e ambiental brasileiro, produzirá melhoria funcional clinicamente significativa em pacientes pós-AVC em fase aguda/subaguda e lesão medular incompleta, com custo-benefício adequado para sustentação no SUS-DF. Especificamente, postulamos que adaptações incluindo: (a) recalibração de algoritmos de controle para biometria média brasileira e padrões de marcha característicos; (b) customização de interface para português e integração com protocolos clínicos brasileiros; (c) otimizações para ambiente tropical do DF (clima quente e úmido); (d) integração parcial com sistemas de Estimulação Elétrica Funcional (FES) para sinergismo de ativação muscular; permitirão alcançar eficácia comparável aos contextos de origem, preservando segurança e aceitabilidade clínica.

**Hipótese Principal de Andador Robótico:** Um andador robótico inteligente híbrido, integrando (i) assistência motorizada adaptativa em 4 rodas independentes, (ii) sistema sofisticado de detecção de intenção de movimento baseado em múltiplos sensores (força em alavancas, LiDAR, câmeras, acelerômetros), (iii) controle inteligente em tempo real com algoritmos de aprendizado de máquina (IA), e (iv) interface com realidade virtual para feedback visual e orientação navegacional, produzirá melhoria funcional SUPERIOR ao andador convencional, com redução significativa de risco de queda em população heterogênea com distúrbios de marcha. Especificamente, postulamos ganhos de: (a) velocidade de marcha ≥25% (10MWT); (b) tempo de execução de tarefas funcionais reduzido ≥40% (TUG); (c) risco de queda reduzido ≥60% pela detecção e prevenção de obstáculos; (d) engajamento aumentado pela componente de realidade virtual; (e) autonomia aumentada pela redução de dependência de cuidador.

**Hipótese Operacional:** Será viável estruturar um Centro integrado e único que simultaneamente adquira, domine e adapte exoesqueleto comercial de ponta E desenvolva andador robótico inovador, com divisão clara de recursos, responsabilidades e cronograma, sem comprometer qualidade de nenhuma linha. Esta hipótese desafia a suposição comum de que centros especializados devem focar em único dispositivo/tecnologia, demostrando que **diversificação controlada** em torno de um tema central (reabilitação neuromotora robótica) maximiza impacto, aprendizado e sustentabilidade.

### 2.2. Objetivo Geral e Objetivos Específicos (Conforme Item 3.3 da Chamada Pública)

Esta proposta tem por objeto a implantação de um Centro de Tecnologias de Reabilitação Neuromotora no âmbito da SES-DF/IGESDF. O projeto adota integralmente os objetivos definidos na Chamada Pública nº 03/2025, demonstrando aderência máxima ao escopo da demanda da SES-DF/IGESDF.

Esse Centro será voltado à modernização da assistência e ao fortalecimento da autonomia tecnológica local, mediante a incorporação responsável de soluções avançadas (como exoesqueletos, realidade virtual e interfaces cérebro-máquina), o fomento à pesquisa e desenvolvimento (P&D), a validação clínica em ambiente real do Sistema Único de Saúde (SUS-DF) e a formação de recursos humanos especializados.

O propósito central é reduzir a incapacidade funcional de pacientes pós-Acidente Vascular Cerebral (AVC) e outras condições neurológicas, promovendo a melhoria funcional, o aumento da autonomia e a geração de um impacto socioeconômico sustentável para o Distrito Federal.

#### Objetivo Geral

[3.1. Objetivos específicos;]

Como objetivo geral, este projete visa a implantar, no âmbito da SES-DF/IGESDF, um Centro de Tecnologias de Reabilitação Neuromotora voltado à modernização da assistência e à pesquisa e desenvolvimento tecnológico dual, mediante: (1) Aquisição de exoesqueleto comercial com subsequente domínio técnico e adaptação para contexto local SUS-DF, e (2) Desenvolvimento autóctone de andador robótico inteligente híbrido, ambos com validação clínica em ambiente real, formação de recursos humanos e estabelecimento de modelo de sustentabilidade, a fim de reduzir incapacidade funcional de pacientes com distúrbios neuromotores, fortalecer autonomia tecnológica local e gerar impacto socioeconômico sustentável para o Distrito Federal.

#### Objetivo Específicos

[3.3. Objetivos específicos;]

Os Objetivos Específicos detalham a trajetória do P&D à validação e transferência de conhecimento. A Tabela 1 sintetiza o alinhamento das metas do projeto com os objetivos institucionais do FAPDF.

Tabela 1: Alinhamento dos Objetivos Específicos (OE) do Projeto com as Exigências da Chamada Pública FAPDF.

| **OE** | **Descrição** | **Entregável - Exoesqueleto** | **Entregável - Andador Robótico** | **Prazo** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 3.3.1 | Levantar situação epidemiológica e mapear rede reabilitação do DF | Relatório epidemiológico + mapeamento de fluxos SUS-DF | Idem | Mês 6 |
| 3.3.2 | Implantar infraestrutura física e tecnológica do Centro | Espaço para exoesqueleto integrado à rede clínica | Espaço para prototipagem e testes andador | Mês 8 |
| 3.3.3 | Adquirir e dominar dispositivos comerciais / Análise comparativa | Exoesqueleto comercial adquirido + relatório de domínio técnico | Análise de andadores comerciais existentes + benchmarking | Mês 9 |
| 3.3.4 | Desenvolver protótipos ou adaptações de dispositivos | Adaptações/melhorias de exoesqueleto para contexto local (FES, algoritmos, interface, calibrações) | Desenvolvimento de protótipo andador robótico com assistência motorizada + sensores + IA + RV | Mês 12 |
| 3.3.5 | Estabelecer protocolos clínicos e regulatórios com submissão ao CEP/CONEP | Protocolo clínico exoesqueleto aprovado | Protocolo clínico andador robótico aprovado | Mês 15 |
| 3.3.6 | Conduzir validação clínica em serviços de referência | Estudo piloto com ≥6 pacientes em exoesqueleto | Estudo piloto com ≥8 pacientes em andador robótico | Mês 18 |
| 3.3.7 | Formar e capacitar recursos humanos (≥25 pós-graduandos em 5 anos) | 2 pós-graduandos (D/M) em exoesqueleto/reabilitação | 2 pós-graduandos (D/M) em robótica/controle | Mês 18 |
| 3.3.8 | Produzir protocolos operacionais e guias de uso clínico | Manual de uso exoesqueleto adaptado; guia de indicações clínicas | Manual de operação andador; guias de reabilitação com RV | Mês 18 |
| 3.3.9 | Estruturar modelo de sustentabilidade | Proposta de integração exoesqueleto no SUS (convênios, treinamento); Modelo de manutenção e upgrade | Proposta de escalabilidade andador (ETEC, CPSI, startups); Modelo de sustentabilidade | Mês 18 |
| 3.3.10 | Fomentar propriedade intelectual e inovação | Documentação de adaptações (registro de melhoria de dispositivo); ≥1 artigo sobre otimizações | ≥1 patente andador robótico + ≥1 software; ≥2 artigos científicos | Mês 18 |

### 2.3. Hipóteses de P&D (FES, IA e Neuroplasticidade)

O fundamento científico do projeto reside na otimização da reabilitação neuromotora por meio de sistemas híbridos. A hipótese central é que a combinação do suporte mecânico de exoesqueletos em desenvolvimento com a Estimulação Elétrica Funcional — que ativa músculos paralisados e estimula circuitos neurais — promoverá uma melhoria funcional superior à aplicação de dispositivos isolados (Ben Abdallah; Bouteraa; Alotaibi, 2025; Marquez-Chin; Popovic, 2020; Molazadeh et al., 2021; Trigili; Hirche, 2023). A utilização de FES também promove a saúde óssea, a elasticidade dos membros e benefícios cardiovasculares e metabólicos, sendo sua integração com exoesqueletos propensa a manter ou aumentar os benefícios terapêuticos (Molazadeh et al., 2021).

O uso de sistemas de controle inteligente baseados em Inteligência Artificial e biofeedback permite que o dispositivo se adapte em tempo real ao padrão de marcha do usuário e ao seu potencial de neuroplasticidade (Coser et al., 2024; Koelewijn et al., 2021). Essa integração visa maximizar a reorganização neuromuscular, crucial para pacientes pós-AVC e lesão medular (Ivanenko et al., 2021; Molazadeh et al., 2021; Trigili; Hirche, 2023). A experiência prévia do LARA/UnB no desenvolvimento de exoesqueleto ativo para o quadril integrado com FES para o joelho suporta a viabilidade desta abordagem híbrida. No entanto, a concepção de controladores que considerem a redundância de atuadores em neuropróteses híbridas é um desafio de pesquisa em aberto (Alibeji; Kirsch; Sharma, 2015; Molazadeh et al., 2021).

## 3. Relevância da Proposta para o Desenvolvimento Científico, Tecnológico e de Inovação do DF (Item 7.9)

[7.9. Relevância da proposta para o desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação do Distrito Federal;]

### 3.1. Estado da Arte e Necessidade de Autonomia Tecnológica

A relevância da proposta para o DF é determinada pela capacidade de transformar a pesquisa acadêmica em inovação aplicada, superando a dependência de soluções importadas. Atualmente, os exoesqueletos avançados representam o estado da arte, mas são restritos por custo e adaptação (Johnson; Mendonca, 2023). O Brasil, no entanto, está na vanguarda do desenvolvimento de dispositivos acessíveis que têm o potencial de reduzir custos e ampliar o acesso à reabilitação de alta complexidade, um esforço que coloca o país como referência internacional na área. Academicamente, a literatura corrobora os benefícios substanciais do uso regular de exoesqueletos, incluindo a redução da atrofia muscular, a melhoria da circulação sanguínea, a prevenção de úlceras de pressão e a melhora da densidade óssea, além de impactos psicológicos significativos para os pacientes (Calabrò et al., 2018; Molazadeh et al., 2021; Rodríguez-Fernández; Lobo-Prat; Font-Llagunes, 2021). Exoesqueletos podem melhorar a marcha, a capacidade de deambulação, o equilíbrio e reduzir a espasticidade muscular em membros inferiores em indivíduos pós-AVC (Lora-Millan et al., 2023; Pires et al., 2019; Zhang et al., 2024). Em pacientes com AVC, o uso de dispositivos neurorrobóticos pode melhorar a recuperação da marcha, ativando mecanismos específicos de plasticidade cerebral (Calabrò et al., 2018).

O investimento do projeto no desenvolvimento de protótipos de segunda e terceira geração é uma decisão estratégica que se contrapõe à compra de equipamentos caros e de alto custo de manutenção. O projeto, portanto, não é meramente um esforço de pesquisa, mas sim um estudo de viabilidade focado em criar um Modelo de Negócio de Tecnologia Assistiva que seja economicamente viável e aplicável à realidade do SUS-DF. Este enfoque visa à criação de modelos, protótipos ou provas de conceito para aplicação em políticas públicas, conforme diretrizes do Edital Desafio DF.

### 3.2. Benefícios Financeiros

Além dos ganhos para a qualidade de vida dos pacientes, a eficiência na terapia de reabilitação com robótica pode gerar benefícios financeiros relevantes para o DF. A Tabela XXXX apresenta a economia média de um paciente durante 5 anos por economia com fisioterapia, redução de custos com cuidadores e ganho com retorno ao trabalho (Araújo et al., 2010; Mehrholz et al., 2018; Nascimento et al., 2021; Park et al., 2024; Pinto et al., 2020; Wagner et al., 2011).

Tabela . Estimativa de ganhos financeiros por paciente para o DF, ao longo de 5 anos.

Interface gráfica do usuário, Texto, Aplicativo, Email

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

### 3.3. Parcerias Locais e Internacionais Estruturantes

O sucesso do Centro de Reabilitação depende da pesquisa translacional, que exige a integração entre a engenharia (UnB/LARA) e o ambiente clínico (SUS-DF).

#### Parcerias Locais Estratégicas

As colaborações potenciais com o Hospital Universitário de Brasília (HUB), o Hospital de Base Paulo Eugênio e o Hospital de Apoio garantem o acesso à população alvo (pacientes pós-AVC e lesionados medulares) e fornecem o ambiente real para os testes clínicos e a validação funcional. A participação de docente da Fisioterapia --- João Durigan --- , de médicos especialista em áreas estratégicas --- Amary Gondim (neurocirurgião), Laryssa Menegaz (ecocardiografista), Rodolfo (nefrologista e gestor de hospitais) e Giuseppe (nefrologista e gestor de hospitais) assegura a expertise clínica e de gestão hospitalar na definição dos protocolos de reabilitação.

#### Rede Internacional de Fomento e Colaboração

As parcerias internacionais são cruciais para o benchmarking e para a transferência de tecnologias de terceira geração. O projeto se beneficiará das colaborações ativas com o Biomechanical Engineering Lab (BIOMEC/UPC, Espanha), o CHART (Nottingham, Reino Unido) e o NHCR (TUM, Alemanha), centros de excelência em robótica assistiva e interfaces neurais. O Edital Desafio DF permite a participação de pesquisadores externos ao DF em até 1/3 da equipe, viabilizando a formação de uma rede robusta. O planejamento inclui missões técnicas para o INRIA (França) e universidades, como Harvard e Northwestern, maximizando o intercâmbio de conhecimento e acelerando o P&D 1.

## 4. Metodologia de Execução das Atividades (Item 7.6)

[7.6. Metodologia de execução das atividades ou projetos;]

O projeto será executado em ciclo de 18 meses, com possibilidade de prorrogação justificada até 24 meses, estruturado em **5 eixos interdependentes com 2 linhas de trabalho paralelas**:

A estrutura metodológica do projeto foi cuidadosamente concebida para maximizar sinergias entre as duas linhas tecnológicas enquanto mantém clareza operacional e responsabilidades bem definidas. O faseamento em 18 meses representa período crítico para demonstração de viabilidade de ambas as estratégias: suficiente para aquisição, instalação, adaptação e validação inicial de exoesqueleto comercial; simultaneamente, viável para desenvolvimento, prototipagem iterativa e testes clínicos iniciais de andador robótico. A possibilidade de prorrogação até 24 meses oferece flexibilidade para cenários onde aprovações regulatórias se estendem ou quando iterações adicionais de prototipagem se justificam cientificamente.

A organização em dois eixos de trabalho reflete natureza distinta das tarefas: **Linha 1 (Exoesqueleto)** é majoritariamente de integração, adaptação e transferência de conhecimento de tecnologia existente; **Linha 2 (Andador Robótico)** é majoritariamente de P&D criativo, prototipagem e inovação. Ambas as linhas compartilham infraestrutura comum (centros de análise, equipes clínicas, administrativas) mas mantêm estrutura técnica separada (grupos de engenharia, protocolos clínicos específicos, orçamentos dedicados).

O cronograma de atividades está discriminado no ANEXO 1.

### 4.1. Estrutura Geral e Faseamento Integrado

O projeto será executado em ciclo de 18 meses, com possibilidade de prorrogação justificada até 24 meses, estruturado em **5 eixos interdependentes com 2 linhas de trabalho paralelas** e um eixo transversal - gestão, RH e sustentabilidade (Eixo 5).

#### LINHA 1 - EXOESQUELETO COMERCIAL:

* Eixo 1A: Infraestrutura e aquisição de exoesqueleto comercial
* Eixo 2A: Domínio técnico, adaptações e otimizações para contexto local
* Eixo 3A: Validação clínica com protocolos específicos para exoesqueleto
* Eixo 4A: Transferência de conhecimento e sustentabilidade

#### LINHA 2 - ANDADOR ROBÓTICO INTELIGENTE:

* Eixo 1B: Infraestrutura de prototipagem e benchmarking
* Eixo 2B: P&D de andador robótico híbrido (assistência + sensores + IA + RV)
* Eixo 3B: Validação clínica paralela com protocolo específico
* Eixo 4B: Transferência e escalabilidade

### 4.2. Fase I: Estruturação Integrada (Meses 1-6)

A Fase I representa período crítico de fundação, durante o qual infraestrutura física é estabelecida, equipes são formadas, documentos regulatórios são preparados e ambos os dispositivos são adquiridos/iniciados. Esta fase requer sincronização cuidadosa de múltiplas atividades paralelas para garantir que, ao final de 6 meses, Centro esteja pronto para entrada na Fase II de trabalho técnico intensivo.

#### Atividades Comuns:

1. Implantação de infraestrutura física do Centro): salas separadas para exoesqueleto e prototipagem, laboratório de movimento, espaço clínico
2. Estruturação de equipe técnica multidisciplinar
3. Elaboração de 2 protocolos clínicos (um para exoesqueleto, outro para andador robótico)

#### Atividades LINHA 1 (Exoesqueleto):

1. Prospecção de exoesqueletos comerciais disponíveis (ReWalk, Ekso, FourierX2, HAL)
2. Negociação comercial e importação de 1 exoesqueleto de 2ª/3ª geração
3. Recebimento, desempacotamento, instalação e testes iniciais de funcionamento
4. Leitura de manuais técnicos, documentação de engenharia
5. Início de treinamento da equipe com representantes do fabricante

#### Atividades LINHA 2 (Andador Robótico):

1. Aquisição de componentes: motores elétricos, rodas, sensores (LiDAR, câmeras, IMU, força), computadores embarcados.
2. Setup de laboratório de prototipagem com ferramentas CAD/CAM.
3. Análise comparativa de tecnologias disponíveis.

#### Entregáveis Mês 6:

1. Centro físico operacional.
2. Exoesqueleto comercial instalado e funcional.
3. 1 Protocolo clínicos em versão final para CEP/CONEP.
4. Equipamentos de prototipagem configurados para o andador robótico.

### Fase II: P&D Intensivo e Transferência Tecnológica (Meses 3-12)

A Fase II representa núcleo do trabalho técnico, durante o qual exoesqueleto é dominado e adaptado, enquanto andador robótico é desenvolvido iterativamente. O paralelismo desta fase com Fase I (iniciando em mês 3, enquanto estruturação ainda está em conclusão) reflete a compreensão de que algumas atividades técnicas podem começar assim que infraestrutura e equipamentos estão minimamente disponíveis, não sendo necessário aguardar conclusão 100% de Fase I.

#### LINHA 1: EXOESQUELETO COMERCIAL - Domínio e Adaptações Locais

A estratégia para Linha 1 reflete a compreensão de que domínio de tecnologia comercial sofisticada é processo contínuo de imersão, treinamento hands-on, documentação, testes e otimização. Diferentemente de desenvolvimento de novo dispositivo (onde há liberdade de design), trabalho com exoesqueleto comercial requer aproximação sistemática respeitando especificações do fabricante enquanto identifica oportunidades de melhoria marginal e customização responsável.

**Subatividade 1 - Domínio Técnico Progressivo**

O domínio técnico é estruturado em três fases sobrepostas:

1. Meses 3-6: Treinamento intensivo de operação (2 fisioterapeutas + 2 engenheiros).
2. Meses 6-9: Estudos de caso com protocolos de parametrização.
3. Meses 9-12: Documentação completa de procedimentos operacionais, troubleshooting, manutenção preventiva.

**Subatividade 2 - Adaptações para Contexto Local SUS-DF**

As adaptações representam esforço de engenharia responsável para otimizar dispositivo comercial para realidade brasileira. Diferentemente de modificação não-autorizada (que anularia garantia), as adaptações serão documentadas, discutidas com fabricante quando possível, e implementadas de forma reversível.

1. **Algoritmos adaptados:** Recalibração de parâmetros de controle para população brasileira (biometria média, padrão de marcha, velocidade preferida, compensações neuromotoras características).
2. **Integração com FES (parcial):** Estudo de viabilidade de sincronização com estimulação elétrica funcional; desenvolvimento de interface de comunicação entre exoesqueleto e equipamento FES.
3. **Otimizações para clima tropical:** Avaliação de desempenho em ambiente quente/úmido do DF; ajustes de ventilação, proteção eletrônica, manutenção preventiva.
4. **Customizações ergonômicas:** Adaptação de encaixes, correias, interfaces de conforto para população DF; desenvolvimento de versões para diferentes faixas etárias.
5. **Documentação técnica:** Manuais de operação e manutenção adaptados; Guias de protocolo clínico; Vídeos tutoriais em português.

**Subatividade 3 - Testes de Aceitabilidade e Segurança**

1. Testes com 10+ voluntários saudáveis e 5-10 pacientes em fase piloto
2. Avaliação de tolerabilidade, segurança, usabilidade, aceitação
3. Documentação de incidentes, limitações, recomendações de aprimoramento

**Entregáveis Exoesqueleto (Mês 12)**

1. Exoesqueleto totalmente dominado e operacional
2. Manual de operação em português
3. Guia clínico de indicações e protocolos
4. Documentação de adaptações e otimizações realizadas
5. Vídeos tutoriais de treinamento
6. Relatório de testes com voluntários

#### LINHA 2: ANDADOR ROBÓTICO INTELIGENTE - Desenvolvimento de Protótipo

A estratégia para Linha 2 reflete abordagem clássica de P&D iterativo, onde especificação inicial é refinada através de ciclos de design → prototipagem → teste → aprendizado → re-design. O foco é desenvolvimento de Protótipo Mínimo Viável (MVP) que demonstra viabilidade técnica e promessa clínica, constituindo base para futuro desenvolvimento expandido e comercialização.

**Subatividade 1 - Desenvolvimento Mecânico:**

O andador robótico será estruturado como sistema mecânico modular e escalável, permitindo adaptação a diferentes antropometrias e objetivos terapêuticos.

1. Projeção CAD de estrutura de andador robótico (4 rodas, alavancas de antebraço, sistema de freio)
2. Seleção de materiais leves e duráveis
3. Design modular e adaptável a diferentes morfologias
4. Prototipagem iterativa: P1 (estrutura base) → P2 (integração de motores) → P3 (refinamento)
5. Análise estrutural via FEA (resistência, deformação, fatiga)

**Subatividade 2 - Integração de Sensores e Detecção de Intenção**

A detecção de intenção de movimento é elemento crítico que diferencia andador robótico de andador motorizado simples. O objetivo é que o dispositivo "compreenda" para onde o usuário deseja caminhar e com que velocidade e detecte e previna obstáculos.

1. Integração de LiDAR 2D para mapeamento de ambiente e prevenção de obstáculos
2. Câmeras RGB/profundidade para análise de marcha em tempo real
3. Sensores de força/pressão em alavancas para detecção de intenção
4. Palmilhas inteligentes com sensores de pressão
5. Acelerômetros e giroscópios para análise de equilíbrio e detecção de queda
6. Algoritmos de detecção de intenção via aprendizado de máquina (Random Forest, SVM, CNN)

**Subatividade 3 - Sistema de Controle Inteligente e Interface com Realidade Virtual**

O sistema de controle é "cérebro" do andador, convertendo intenções do usuário e informação ambiental em comandos de movimento seguro e adaptado.

1. Desenvolvimento de controlador em ROS para coordenação de motores independentes
2. Algoritmo de "assistência adaptativa": varia grau de assistência conforme força do usuário
3. Integração de IA para predição de movimento
4. Sistema de visão computacional para detecção de obstáculos
5. Integração com engine de RV (Unity): visualização de obstáculos, feedback visual/auditivo de segurança
6. Interface homem-máquina intuitiva baseada em força/pressão (não botões)
7. Testes de controle em ambiente simulado (ROS Gazebo) + ambiente semi-estruturado

**Entregáveis Andador Robótico (Mês 12):**

1. Protótipo Mínimo Viável (MVP) funcional (TRL 4)
2. Estrutura mecânica com mobilidade assistida em 4 direções
3. Sistema de sensores integrado
4. Algoritmos de controle e IA funcionais
5. Interface com RV integrada
6. Documentação técnica completa (desenhos, especificações, código-fonte)
7. Relatórios de validação técnica

### 4.4 Fase III: Conformidade Regulatória (Meses 6-15)

Conformidade regulatória é atividade crítica, paralela ao desenvolvimento técnico, que garante que qualquer teste clínico será realizado dentro de arcabouço ético e legal robusto.

**Atividade 1 - Submissão ao CEP/CONEP**:

1. Protocolo clínico para exoesqueleto: pacientes pós-AVC agudo/subagudo, lesão medular incompleta, população <65 anos
2. Protocolo clínico para andador robótico: população com distúrbios de marcha (Parkinson, EM, distúrbios de equilíbrio, AVC crônico, idade ≥50 anos)
3. Submissão separada ou conjunta conforme orientação do CEP
4. Aprovações esperadas: Mês 12-15

**Atividade 2 - Desenho dos Estudos Piloto:**

1. Exoesqueleto: 6 pacientes (quasi-experimental ou cross-over)
2. Andador robótico: 8 pacientes (quasi-experimental com grupo controle)
3. Recrutamento nos 3 hospitais parceiros

**Entregáveis Fase III:**

1. Protocolo aprovado CEP/CONEP (Mês 12-15)
2. TCLE aprovado (Mês 12-15)
3. Formulários de coleta de dados estruturados
4. Plano de análise estatística descritivo
5. Documentação de conformidade regulatória

### Fase IV: Validação Clínica (Meses 9-18)

A validação clínica é momento crítico onde tecnologia é testada em populações reais, sob supervisão clínica, em ambientes realistas.

#### EXOESQUELETO - Validação Clínica

**Etapa 1 - Avaliações Biomecânicas Iniciais (Baseline)**

1. Análise cinemática 3D da marcha SEM exoesqueleto (captura de movimento com câmeras infravermelhas, markers retrorrefletivos em pontos anatômicos)
2. Análise dinâmica (plataforma de força, medindo força de reação do solo durante marcha)
3. Eletromiografia de superfície: 8+ músculos de membros inferiores registrando ativação eletrônica durante marcha
4. Documentação de força muscular (teste manual de força em escala MRC 0-5)

**Etapa 2 - Testes com Exoesqueleto:**

1. Mesmas avaliações biomecânicas USANDO exoesqueleto com assistência máxima
2. Comparação intra-paciente de biomecânica com vs. sem assistência

**Etapa 3 - Intervalo Terapêutico**

1. 8 semanas de terapia (2-3 sessões/semana, 45-60 min/sessão)
2. Cada sessão envolve: aquecimento, marcha com exoesqueleto com assistência gradualmente reduzida (começando máxima, progressivamente reduzindo), atividades funcionais (subir degraus, virar, marcha em diferentes terrenos), "cool-down"
3. Monitoria contínua: frequência cardíaca (via pulsoxi), pressão arterial (pré e pós-sessão), escala de fadiga, escala de dor, documentação de quaisquer eventos adversos

**Etapa 4 - Avaliações Finais:**

1. Repetição de todas avaliações biomecânicas (SEM exoesqueleto, COM exoesqueleto)
2. Escalas clínicas (Fugl-Meyer, 10MWT, 6MWT, BBS, Barthel, Ashworth)
3. Questionários de satisfação, usabilidade, aceitabilidade
4. Comparação pré vs. pós-intervenção

**Etapa 5 - Análise de Dados:**

1. Análise intra-paciente de mudanças (paired t-test ou Wilcoxon se distribuição não-normal)
2. Cálculo de tamanhos de efeito (Cohen's d)
3. Descrição de eventos adversos (frequência, severidade, relacionamento com dispositivo)

**Entregáveis Exoesqueleto:**

1. Arquivo de dados de movimento 3D (para futura análise mais profunda se necessário)
2. Tabela de resultados de escalas clínicas pré/pós
3. Gráficos de biomecânica comparando com vs. sem assistência
4. Relatório qualitativo de usabilidade (sugestões de melhoria, dificuldades, sucessos)
5. Manuscrito manuscrito em preparação documentando resultados

#### ANDADOR ROBÓTICO - Validação Clínica (paralela)

Paralelamente, estudo de andador robótico é executado com 8 pacientes, com protocolo similar mas adaptado

**Etapa 1 - Validação Técnica em Ambiente Controlado (Lab) - Pré-clínico**

1. Testes funcionais do MVP: mobilidade em 4 direções, detecção de obstáculos, freio de emergência
2. Testes de segurança: resistência estrutural sob carga (150 kg), responsividade de freio eletromagnético (<200ms), validação de parada rápida
3. Validação de sensores: LiDAR testado contra calibrados obstáculos; câmeras validadas contra medidas conhecidas; sensores de força testados com cargas calibradas
4. Validação de detecção de intenção: comparação de predições do algoritmo vs. intenções reportadas por voluntários

**Etapa 2 - Testes com Voluntários Saudáveis (Lab) - Pré-clínico**

1. 5+ voluntários saudáveis testam andador em ambiente de laboratório
2. Objetivo: validar funcionamento de controle, segurança básica, usabilidade do interface
3. Coleta de feedback: dificuldades, sugestões, sugestões de melhoria

**Etapa 3 - Avaliações Biomecânicas Iniciais (Pacientes, Baseline)**

1. Análise cinemática com andador convencional (baseline)
2. Análise com andador robótico (assistência máxima)
3. Eletromiografia, força de reação do solo
4. Análise de estabilidade e risco de queda

**Etapa 4 - Intervalo Terapêutico**

1. 8 semanas terapia (2-3 sessões/semana, 30-45 min)
2. Progressão: semanas 1-2 (familiarização com dispositivo, assistência máxima); semanas 3-4 (redução leve de assistência, tarefas de navegação); semanas 5-6 (assistência continuamente reduzida, tarefas complexas, realidade virtual); semanas 7-8 (independência máxima com suporte mínimo)
3. Eventos monitorados: queda, lesão, tolerabilidade cardiovascular, adesão

**Etapa 5 - Avaliações Finais**

1. Repetição de avaliações biomecânicas
2. Escalas clínicas (TUG, 10MWT, 6MWT, BBS, Barthel, EQ-5D)
3. Questionários de satisfação e usabilidade
4. Documentação de eventos adversos (particularmente quedas, em relação a prevenção pelo andador)

**Etapa 6 - Análise de Dados**

1. Comparação com vs. sem andador robótico (dentro-grupo)
2. Comparação experimental (andador robótico) vs. controle (andador convencional), se grupo controle foi incluído
3. Cálculo de tamanhos de efeito
4. Análise qualitativa de usabilidade

**Entregáveis Andador Robótico**

1. Dados de movimento 3D (cinemática, eletromiografia)
2. Tabelas de desempenho de detecção de intenção durante testes
3. Tabelas de resultados de escalas clínicas
4. Gráficos de comparação robôtico vs. convencional
5. Log de eventos adversos com análise de causa-raiz
6. Análise qualitativa de usabilidade
7. Propostas de iteração de design para P2 de protótipo

### Fase V: Transferência Tecnológica e Sustentabilidade (Meses 12-18)

Enquanto validação clínica decorre, paralelamente inicia-se disseminação de conhecimento e estruturação de modelos de sustentabilidade.

#### Atividade 1 - Disseminação de Conhecimento:

**Para Exoesqueleto:**

1. Elaboração de manual técnico em português (300+ páginas): operação, parametrização, manutenção, troubleshooting
2. Produção de vídeos tutoriais em português (20+ vídeos curtos): operação básica, parametrização avançada, manutenção preventiva, resposta a problemas comuns
3. Publicação de artigo em periódico revisado descrevendo adaptações realizadas, lições aprendidas (Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, IEEE Transactions on Medical Robotics ou similar)
4. Apresentações em congressos nacionais (SOBRAFIR, Associação Brasileira de Fisioterapia) disseminando conhecimento

**Para Andador Robótico:**

1. Manual técnico completo de operação, manutenção, algoritmos
2. Documentação de engenharia CAD (disponível sob licença apropriada para futuras iterações)
3. Código-fonte comentado de controlador ROS (open-source, repositório GitHub)
4. Documentação de modelos de IA com datasets de treinamento (para reproducibilidade)
5. Vídeos tutoriais de treinamento
6. Publicação de 2+ artigos em periódicos internacionais: um focando tecnologia (detecção de intenção, controle adaptativo); outro focando validação clínica
7. Apresentações em conferências internacionais

#### Atividade 2 - Propriedade Intelectual:

**Para Exoesqueleto:**

1. Se adaptações forem suficientemente inovadoras (que é possível no caso de integração FES e algoritmos customizados), considerar registro de patente de "processo de adaptação de exoesqueleto comercial para contexto tropical" ou "método de integração de FES com exoesqueleto robótico"
2. Registro de direitos autorais para manuais e vídeos em português

**Para Andador Robótico:**

1. Depósito de patente do andador robótico inteligente híbrido (conceito de design, sistema de controle adaptativo, integração com RV)
2. Registro de software (algoritmo de detecção de intenção, controlador em ROS) junto a CGTR (Coordenação de Gestão do Conhecimento Tecnológico e de Recursos)
3. Possível licenciamento de tecnologia para startups ou indústria

#### Atividade 3 - Estruturação de Modelos de Sustentabilidade:

**Governança:**

1. Estruturação de Conselho Gestor Multissetorial (representantes de SES-DF, IGESDF, UnB, direções de hospitais parceiros, empresas potenciais de tecnologia)
2. Comitê Técnico-Científico (pesquisadores, engenheiros, clínicos) para supervisão de qualidade
3. Comitê de Gestão Operacional (coordenador, gerente administrativo, técnicos)
4. Reuniões trimestrais de alinhamento

**Modelo de Financiamento Multimodal:**

1. Convênios anuais com SES-DF (R$ 400-600 mil/ano para operação, manutenção, pessoal)
2. Emendas parlamentares (R$ 200-500 mil/ano, direcionadas via deputados/senadores do DF)
3. Fomento à inovação via futuras chamadas da FAPDF, EMBRAPII, BNDES
4. Parcerias público-privadas com indústrias de dispositivos médicos (R$ 700 mil/ano potencial)
5. Recursos institucionais UnB (bolsas CNPq/CAPES para pós-graduandos)

**Proposta de Implementação Permanente:**

1. Modelo de ETEC: SES-DF contrata desenvolvimento/customização continuada de soluções para exoesqueleto via mecanismo ETEC
2. Modelo de CPSI: SES-DF abre CPSI para fabricação de andadores robóticos produzidos por startups/indústrias
3. Potencial spin-off: grupo de pesquisadores funda empresa para manufatura e distribuição de andadores robóticos desenvolvidos no Centro

**Indicadores de Impacto:**

1. Clínico: pacientes atendidos/ano, melhora funcional média, redução de quedas
2. Financeiro: custo/paciente, eficiência operacional
3. Científico: artigos publicados/ano, citações, parcerias
4. RH: pós-graduandos titulados/ano, profissionais capacitados
5. Inovação: número de protótipos desenvolvidos, patentes, startups criadas

**Entregáveis Fase V:**

1. Manuais técnicos finalizados (ambas linhas)
2. Vídeos tutoriais produzidos (ambas linhas)
3. ≥1 artigo publicado ou aceito para publicação (exoesqueleto)
4. ≥2 artigos publicados ou aceitos (andador robótico)
5. Pedidos de PI depositados (INPI, CGTR, conforme aplicável)
6. Plano de Sustentabilidade formalizado em documento oficial
7. Proposta de modelo ETEC/CPSI elaborada
8. Base de dados epidemiológica e painel de indicadores estruturado

### ~~4.2. Aquisição de Dispositivos e Transferência de Conhecimento~~

~~O orçamento será direcionado à aquisição de equipamentos protótipos completos e de dispositivos de composição. Esta fase inclui a compra de exoesqueletos e de itens como atuadores de alta performance, sensores inerciais, hardware de Estimulação Elétrica Funcional, interfaces neurais e licenças de software de simulação biomecânica. O objetivo é adquirir familiaridade e domínio prático das tecnologias existentes para que os pesquisadores desenvolvam a experiência necessária na utilização de exoesqueletos e FES, servindo esta etapa como base para o posterior desenvolvimento da própria tecnologia e protótipos avançados.~~

### ~~4.3. Desenvolvimento de Protótipos 2ª/3ª Geração~~

~~A fase central do projeto é o Desenvolvimento de Protótipos de exoesqueletos de segunda e terceira geração, especificamente adaptados às necessidades de custo e funcionalidade do SUS-DF. A metodologia de P&D se concentra em:~~

1. **~~Desenvolvimento Híbrido:~~** ~~Projeção e fabricação de um exoesqueleto de baixo custo (membros inferiores e/ou superiores) com foco em modularidade e materiais leves.~~
2. **~~Integração FES e Controle Inteligente:~~** ~~Incorporação do sistema FES ao protótipo para ativação muscular sinérgica. O LARA aplicará sua expertise em Sistemas de Controle, Estimação e Filtragem Estocástica para integrar algoritmos de IA, criando um sistema de controle adaptativo que responda às intenções neurais do paciente (biofeedback), elevando o dispositivo à classificação de terceira geração.~~
3. **~~Saída Técnica:~~** ~~Produção do Protótipo Mínimo Viável (MVP) para testes de bancada e obtenção da documentação técnica e de engenharia para posterior registro de Propriedade Intelectual (PI).~~

### 4.4. Validação Clínica e Estabelecimento de Protocolos

A validação clínica e funcional de dispositivos de reabilitação neuromotora constitui etapa crítica para a tradução de investigações laboratoriais em soluções de aplicabilidade prática no Sistema Único de Saúde (SUS). A literatura científica demonstra que intervenções inovadoras em reabilitação neuromotora, incluindo exoesqueletos robóticos, estimulação elétrica funcional (FES) e realidade virtual, requerem protocolos de validação estruturados em serviços clínicos reais, com equipes multiprofissionais especializadas, para garantir segurança, eficácia e escalabilidade. Esta fase alinha-se aos objetivos específicos da Chamada Pública nº 03/2025 de validar clinicamente em serviços de referência do DF os protótipos desenvolvidos, gerando evidências para suportar políticas públicas de incorporação tecnológica no SUS.

#### Ações e passos para validação clínica

##### Etapa 1: Conformidade Regulatória e Aprovação Ética

O passo inicial consiste na submissão dos Protocolos Clínicos (estudos piloto e posteriores ensaios de validação) ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da instituição executora e, quando necessário, à Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), conforme exigido pela regulação brasileira. Esta aprovação prévia garante conformidade com as Resoluções CNS nº 196/96 e nº 510/2016, assegurando proteção dos direitos e segurança dos participantes. A documentação deve incluir: protocolo detalhado, termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), critérios de inclusão/exclusão, cronograma de avaliações, riscos-benefícios, e plano de monitoramento de segurança.

##### Etapa 2: Desenho do Estudo Piloto e Ensaios Translacionais

Seguindo modelos estabelecidos na literatura, recomenda-se estruturação de estudo piloto com desenho quasi-experimental ou randomizado controlado, incluindo:

• População-alvo: Pacientes pós-AVC (na fase crônica, >6 meses pós-evento) e indivíduos com lesão medular completa ou incompleta, recrutados nos serviços de referência (Hospital de Base, Hospital Universitário de Brasília, Hospital de Apoio).

• Tamanho amostral: Inicialmente, 20-30 participantes no estudo piloto para avaliação de viabilidade, segurança e tolerabilidade do MVP (Mínimo Produto Viável), com possibilidade de expansão em ensaio controlado subsequente.

• Grupos de comparação: Grupo experimental (dispositivo de reabilitação integrado — exoesqueleto + FES + FES-Cylcing e biofeedback) versus grupo controle (reabilitação convencional – Fisioterapia Padrão - ou dispositivo comercial isolado).

##### Etapa 3: Protocolos de Avaliação Biomecânica e Funcional no LaPlasT UnB.

A validação funcional inclui avaliações estruturadas em múltiplos domínios:

Avaliações Biomecânicas:

• Análise cinemática da marcha: captura de movimento 3D (ângulos articulares, velocidade, cadência, comprimento de passada) em laboratório de análise de movimento ou com sensores inerciais vestíveis.

• Análise dinâmica: força de reação do solo, momento articular, potência mecânica durante atividades funcionais.

• Eletromiografia de superfície (sEMG): padrões de recrutamento muscular, ativação coordenada de músculos agonistas-antagonistas durante marcha e atividades funcionais.

• Parâmetros de FES: pulso (200-400 ms), frequência de estimulação (20-30 Hz conforme tipo de fibra muscular recrutada) e resposta eletromiográfica à estimulação.

Análises da fatigabilidade e viabilidade do uso da estimulação elétrica:

O LaPlasT implementa protocolo estruturado em desenho cross-over randomizado e duplo-cego para avaliação detalhada dos mecanismos de fadiga induzida por diferentes tipos de estimulação neuromuscular funcional (NMES/FES) em pacientes com déficit de controle motor. Os participantes (pacientes pós-AVC e com lesão medular) são submetidos a quatro sessões experimentais (~1 hora cada), separadas por intervalo mínimo de 7 dias, precedidas por sessão de familiarização com todos os procedimentos de teste, incluindo teste de intensidade de NMES, contração máxima voluntária (MVC) e contração máxima evocada para avaliação de torque máximo evocado (MET), além de coleta de parâmetros antropométricos e nível de atividade física. As sessões experimentais randomizadas compreendem três condições de estimulação distintas: (1) Estimulação monofásica do nervo tibial (N-WPHF: frequência 100 Hz, largura de fase 1 ms, eletrodo no nervo), (2) Estimulação monofásica do ventre muscular (M-WPHF: frequência 100 Hz, largura de fase 1 ms, eletrodo no músculo), e (3) Estimulação bifásica convencional (CONV: frequência 20 Hz, largura de fase 0,25 ms, eletrodo no músculo), estruturada para discriminar diferenças potenciais em eficiência de recrutamento muscular e fadigabilidade conforme posicionamento de eletrodo. Cada sessão experimental inicia com aquecimento (8 × 6 segundos de contrações isométricas submáximas progredindo em intensidade) seguido por protocolo de fadiga induzida por NMES (20 contrações evocadas a 20% MVC), com avaliação pré e pós-fadiga de: (1) duas MVCs para mensuração de torque voluntário máximo; (2) duas contrações máximas evocadas para determinação de MET e intensidade máxima tolerada; e (3) curvas de recrutamento de reflexo-H e onda-M para avaliação de excitabilidade espinhal via aferências Ia.

A quantificação da fadiga muscular integra múltiplos parâmetros biomecânicos e neuromusculares: (1) Índice de Fadiga de Torque-Tempo (TTI), calculado como a área sob a curva torque-tempo durante as 20 contrações, expresso como percentual de redução do impulso contratil da primeira para a última contração, permitindo quantificação objetiva de deterioração da performance muscular; (2) Índice de Fadiga de TTI, calculado como razão entre TTI médio das primeiras cinco contrações versus últimas cinco contrações; (3) Índice de Fadiga de Torque Pico, razão entre torque pico médio das últimas cinco contrações versus primeiras cinco contrações; (4) Atividade Eletromiográfica (EMG) de Superfície, capturada sincronamente com avaliação de MVC, oferecendo quantificação de amplitude RMS normalizada para onda-M máxima (Mmax) para cada músculo (gastrocnêmio medial, gastrocnêmio lateral, sóleo), removendo variabilidade dia-a-dia em contato de eletrodo e impedância de pele, bem como Frequência Mediana (MF) do espectro de potência EMG via Transformada Rápida de Fourier para detecção de fadiga central; (5) Teste de Reflexo-H e Onda-M, realizados via estimulador de alta voltagem com determinação de razão Hmax/Mmax para normalização de reflexo-H; (6) Razão de Ativação Central (CAR), quantificada como CAR (%) = [MET / (MVC + torque sobreposto)] × 100, discriminando contribuição de mecanismos centrais versus periféricos à fadiga induzida por FES; (7) Conforto/Tolerabilidade, mensurada via Escala Visual Analógica (VAS 0-10 cm) na 20ª contração do protocolo de fadiga. Esta metodologia robusta e multipla permite caracterização abrangente de fadigabilidade, discriminando se a fadiga resulta predominantemente de mecanismos periféricos (declínio de força muscular propriamente dito) ou centrais (redução da ativação neural), informando parametrização otimizada de protocolos de FES para exoesqueletos integrados propostos no Centro de Reabilitação Neuromotora, garantindo que dispositivos sejam calibrados com ciclos trabalho-repouso e intensidades que balanceiem eficácia terapêutica com tolerabilidade clínica sustentável em pacientes com comprometimento motor severo, alinhando-se aos objetivos da Chamada Pública nº 03/2025.

Avaliações Clínicas e Funcionais, como:

A Escala de Fugl-Meyer para Avaliação Motora (FMA) mensura a recuperaçãmotora dos membros inferiores. O Teste de Caminhada de 10 Metros (10 MWT) avalia a velocidade de marcha, enquanto o Teste de Caminhada de 6 Minutos (6 MWT) mede resistência e capacidade funcional. A Berg Balance Scale (BBS) permite analisar o equilíbrio dinâmico e o risco de queda. O Índice de Barthel quantifica a independência em atividades de vida diária. Por fim, a avaliação de mobilidade e transferências engloba tarefas como sentar-se, levantar-se de uma cadeira e subir escadas, refletindo a funcionalidade global do paciente.

Avaliações Complementares:

• Medidas de segurança: eventos adversos, tolerabilidade do dispositivo, aderência ao protocolo.

• Questionários de satisfação e usabilidade (SUS — System Usability Scale, ou similares).

• Qualidade de vida: SF-36 ou escala específica para reabilitação.

##### Etapa 4: Integração Clínica em Ambiente Real do SUS

Os testes translacionais serão conduzidos em ambientes clínicos reais dos serviços de referência, com protocolos estruturados:

• Frequência e duração: Sessões de reabilitação (ex.: 3 vezes por semana, 45-60 minutos cada) durante período de 8-12 semanas, com avaliações basais (pré-intervenção), intermediárias (semanas 4-6) e finais (pós-intervenção).

• Equipe multiprofissional: Fisioterapeutas especializados em neurologia (como João Durigan), médicos especialistas em neurologia/neurocirurgia (Amary Gondim), cardiologistas (Laryssa Menegaz) para avaliação de segurança sistêmica, gestores hospitalares (Rodolfo, Giuseppe) para viabilidade operacional, e engenheiros biomédicos para parametrização e ajuste dos dispositivos.

• Monitoria contínua: Registro de sinais vitais, tolerabilidade cardiovascular, fadiga, dor, espasticidade (escala de Ashworth modificada) e possíveis eventos adversos em cada sessão.

##### Etapa 5: Análise de Dados e Transferência Tecnológica

• Análise estatística: Comparação intra-grupo (pré vs. pós) e entre-grupos (experimental vs. controle) utilizando testes paramétricos (ANOVA, t-tests) ou não-paramétricos (Mann-Whitney, Wilcoxon) conforme normalidade dos dados. Cálculo de tamanhos de efeito (Cohen's d ou eta-quadrado).

• Relatório de eficácia: Documento técnico sintetizando resultados de segurança, tolerabilidade, ganhos funcionais (magnitude de melhora), comparação com dispositivos comerciais e viabilidade de escalabilidade.

• Documentação para registro regulatório: Dados de segurança e eficácia compilados para potencial registro junto à ANVISA como dispositivo médico, caso aplicável, facilitando aprovação para uso clínico ampliado no SUS.

• Publicações científicas: Artigos em periódicos revisados por pares (nacionais e internacionais), disseminando resultados e fortalecendo propriedade intelectual do DF.

##### Etapa 6: Estruturação de Modelo de Implementação Clínica Sustentável

Baseado em resultados positivos, desenvolver proposta de modelo operacional para integração permanente do Centro ao SUS, incluindo: protocolos de indicação de pacientes, fluxos de referência/contra-referência, capacitação de profissionais da rede, estimativas de custo-efetividade, e potencial para criação de startups/spin-offs para produção ou distribuição de componentes de dispositivos. Esta abordagem estruturada garante que a validação clínica não apenas comprove eficácia e segurança, mas também gere as evidências necessárias para scalabilização no sistema público de saúde, alinhando-se aos objetivos de impacto público da Chamada Pública nº 03/2025.

### 4.5. Capacitação e Formação de Massa Crítica

A formação de capital humano é um dos pilares mais importantes do projeto, abordando a escassez de especialistas no DF. A meta é a formação de pelo menos 25 pós-graduandos em cinco anos, incluindo a capacitação contínua das equipes da rede de saúde. Nos 18 meses de execução inicial, o projeto priorizará a seleção e o início das atividades de pesquisa de 10 bolsistas de Graduação, Mestrado e Doutorado, garantindo que o conhecimento desenvolvido seja internalizado no DF.

### 4.6. Estruturação de modelo de sustentabilidade (integração SUS, convênios, emendas, fomento e parcerias), com governança e indicadores.

A sustentabilidade de centros de inovação em reabilitação neuromotora integrados ao SUS depende de uma governança sólida, diversificação de financiamento e indicadores de impacto bem definidos. A literatura mostra que a integração entre pesquisa, educação e assistência, combinada com parcerias público-privadas e convênios multilaterais, gera estabilidade financeira, impacto assistencial mensurável e continuidade da inovação. O Programa Desafio DF exige exatamente essa estrutura para garantir a operação do Centro após o fim do financiamento inicial. A governança proposta organiza-se em três níveis. O Conselho Gestor Multissetorial reúne representantes da SES-DF/IGESDF, direção executiva, pesquisadores do LaPlasT, gestores hospitalares, secretarias governamentais, setor privado e sociedade civil. É responsável pelo plano estratégico, metas, parcerias e conformidade regulatória, com reuniões trimestrais. O Comitê Técnico-Científico, formado por pesquisadores, fisioterapeutas, engenheiros biomédicos e enfermagem, supervisiona a validação clínica, qualidade dos dados, propriedade intelectual e cronogramas. Já o Comitê de Gestão Operacional conduz a execução diária, finanças, RH e conformidade administrativa. O modelo de financiamento é multimodal. Convênios anuais com a SES-DF garantem custeio básico entre R$ 400 mil e R$ 600 mil. Emendas parlamentares complementam infraestrutura e equipamentos, variando de R$ 200 mil a R$ 500 mil. O fomento à inovação — via Desafio DF, EMBRAPII/BFA e BNDES — viabiliza projetos entre R$ 500 mil e R$ 20 milhões. Parcerias público-privadas incluem acordos com indústrias de dispositivos médicos, incubação de startups e oferta de serviços especializados, com potencial de mais de R$ 700 mil anuais. Recursos institucionais da UnB garantem bolsas CNPq e CAPES, e mecanismos como ETEC e CPSI permitem contratações anuais ou bienais entre R$ 300 mil e R$ 1 milhão.

A sustentabilidade é monitorada por indicadores de impacto clínico (1.500–2.000 pacientes/ano, melhora ≥ 20% de força, redução ≥ 30% de espasticidade), eficiência (custo ≤ R$ 8.000 por paciente, uso de equipamentos ≥ 85%), produção científica (≥ 8 artigos e ≥ 1 patente/ano), formação de pessoal (≥ 5 titulados/ano), inovação (≥ 2 protótipos e ≥ 1 algoritmo de IA/ano) e desempenho financeiro (redução da dependência da FAP-DF e crescimento de receitas externas). Metas ambientais incluem reciclagem de ≥ 80% de resíduos eletrônicos e redução energética de ≥ 10% em três anos. O monitoramento envolve relatórios quadrimestrais ao Conselho Gestor, auditorias externas bienais e benchmarking anual. A estrutura proposta atende às exigências da Chamada Pública nº 03/2025 e consolida o Centro como uma instituição resiliente, financeiramente sustentável e orientada ao impacto na saúde pública e na inovação no Distrito Federal.

## 5. Definição de Metas, Indicadores e Parâmetros de Aferição (Item 7.8)

[7.8. Definição das metas, com parâmetros para aferir seu cumprimento e descritivo da forma de execução das atividades ou dos projetos e de cumprimento das metas a eles atreladas;]

As metas e indicadores (Tabela 2) são definidos para demonstrar o cumprimento dos objetivos, a efetividade e a viabilidade da solução, fatores cruciais para a avaliação pela FAPDF (Critério 2 - Resultado Final Esperado, peso de 30%).

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Meta (M) | Descrição | Linha | Unidade | Entregável | Parâmetro de Aferição | Responsável | Prazo |
| M1 | Aquisição e Domínio de Exoesqueleto | Exo | Equipamento operacional | Exoesqueleto importado + Manual de operação em português + Adaptações documentadas | Exoesqueleto totalmente funcional; Manual em português; ≥10 pacientes testados com sucesso | Prof. Baptista/Durigan | Mês 9 |
| M2 | Desenvolvimento de Andador Robótico MVP | Andador | TRL (maturidade) | MVP andador (TRL 4) + Documentação técnica | Mobilidade 4 direções funcional; Detecção intenção >90%; RV integrada; Documentação completa | Prof. Baptista/Menegaz | Mês 12 |
| M3 | Conformidade Regulatória (Dupla) | Ambas | Aprovações | 2 Protocolos aprovados (1 Exo, 1 Andador) | Aprovação formal CEP/CONEP para ambos (Mês 15) | Prof. Durigan | Mês 15 |
| M4 | Validação Clínica Exoesqueleto | Exo | Pacientes | Estudo Piloto ≥6 pacientes + Relatório | Melhora ≥25% em 10MWT; Segurança comprovada; Eventos adversos documentados | Equipe Clínica | Mês 18 |
| M5 | Validação Clínica Andador | Andador | Pacientes | Estudo Piloto ≥8 pacientes + Relatório | Melhora ≥25% em 10MWT; Redução queda ≥60%; Segurança | Equipe Clínica | Mês 18 |
| M6 | Propriedade Intelectual (Dupla) | Ambas | Registros/Publicações | ≥1 Adaptação Exo + ≥1 Patente Andador + ≥3 Artigos | Submissões formalizadas em órgãos competentes; Artigos aceitos em periódicos internacionais | Prof. Baptista/Durigan | Mês 18 |
| M7 | Capacitação de RH (Dupla) | Ambas | Bolsas + Treinados | 10 Bolsas (4 Exo + 6 Andador) + 60 profissionais | Termos de compromisso assinados; Certificados; Lattes atualizado | Prof. Baptista | Mês 18 |
| M8 | Modelos de Sustentabilidade (Dupla) | Ambas | Planos formalizados | Plano Sustentabilidade + Modelos ETEC/CPSI | Propostas formalizadas com governança; Indicadores definidos; Viabilidade financeira | Coordenador + SES-DF | Mês 18 |

## 6. Instituição Executora, Equipe Técnica, Infraestrutura Apoio (Itens 7.12, 7.13 e 7.16)

A Capacidade Técnica e de Gestão do Projeto (Critério 4, peso de 20%) é assegurada pela composição interdisciplinar da equipe, abrangendo engenharia de controle, eletrônica, robótica, fisioterapia neuromotora e medicina neurocirúrgica.

### 6.1. Instituição Executora, Disponibilidade Efetiva de Infraestrutura e Apoio Técnico, e Visão Geral da Equipe

[7.12. Disponibilidade efetiva de infraestrutura e de apoio técnico para o desenvolvimento do projeto;]

[7.13. Equipe Técnica: pesquisadores principais, pesquisadores colaboradores, alunos e auxiliares, com indicação dos respectivos currículos Lattes;]

[7.16. Instituição Executora, devidamente credenciada junto à FAPDF; ]

A equipe proponente do Laboratório de Automação e Robótica (LARA) da UnB possui um histórico robusto e comprovado em tecnologias correlatas, garantindo a capacidade técnica e a experiência necessárias para o sucesso do P&D de alto nível. O LARA possui publicações em congressos e periódicos internacionais e experiência consolidada em: Neuropróteses, Exoesqueletos, Interface Cérebro-Máquina e Sistemas Inteligentes de Controle 1. As pesquisas prévias contaram com o fomento das principais agências de pesquisa, como FAPDF, CNPQ, FINEP e CAPES. Também StarUps! Também parceria com a UFES!

Duas linhas de pesquisa prévias destacam-se como base para o projeto atual: 1) O desenvolvimento de um sistema de controle inteligente para um exoesqueleto ativo para o quadril integrado a FES para o joelho, utilizando simulação OpenSim; e 2) A exploração da integração de órteses passivas de joelho na FES para indivíduos com lesão medular, com validação experimental. O Prof. Roberto Baptista, coordenador do projeto, possui doutorado com foco em Engenharia Biomédica e Robótica de Reabilitação, com experiência internacional em centros como INRIA (França) e TUM (Alemanha), reforçando o domínio técnico da equipe. Também OsloMet e UPC/IQP!

O Laboratório de Plasticidade Tecidual (LaPlasT), coordenador pelo Prof. João Luiz Quaglioti Durigan, possui expertise consolidada, particularmente a Estimulação Elétrica Neuromuscular (NMES/FES), complementa-se com investigações aprofundadas em plasticidade muscular e tendínea, bem como em imagem muscular e tendínea por ultrassonografia. Essa trajetória de pesquisa posiciona o LaPlasT como instituição estratégica para o desenvolvimento de protocolos de reabilitação neuromotora baseados em evidências, contribuindo para a validação clínica de dispositivos como exoesqueletos integrados a estimulação funcional por eletroestimulação (FES) e inteligência artificial com biofeedback. A capacidade de orientação de estudantes em iniciação científica, mestrado, doutorado e estagiários pós-doutorais nas referidas áreas de pesquisa alinha-se aos objetivos da Chamada Pública nº 03/2025 de formar pelo menos 25 pós-graduandos em cinco anos, simultaneamente fortalecendo a produção de conhecimento e propriedade intelectual no DF em tecnologias de reabilitação neuromotora e implementação de assistência na rede pública do DF.

As colaborações estruturadas com serviços de referência, como o Hospital de Base do Distrito Federal e Hospital de Apoio, Hospital Universitário de Brasília (HUB), Centro Integrado de Saúde da FCTS/UnB garantem acesso à população-alvo (pacientes pós-AVC e com lesão medular) e fornecimento de ambientes clínicos reais para testes funcionais, desenvolvimento de protocolos de reabilitação baseados em evidências e validação de dispositivos. A equipe multidisciplinar composta por docente da Fisioterapia, Prof. João Durigan e médicos especialistas em áreas estratégicas, Amary Gondim (neurocirurgião), Laryssa Menegaz (cardiologista), Rodolfo e Giuseppe (nefrologistas e gestores hospitalares) — assegura expertise clínica consolidada em neurologia, cardiologia e gestão hospitalar, elementos fundamentais para definição de protocolos de reabilitação neuromotora seguros, viáveis e alinhados com a realidade operacional da rede pública. Esta composição multidisciplinar permite integração horizontal entre pesquisadores da UnB (LARA e LaPlasT) e profissionais da rede assistencial, facilitando tradução rápida da pesquisa em prática clínica e contribuindo para a formação de pós-graduandos em pesquisa clínica aplicada à reabilitação neuromotora.

A execução do P&D será ancorada no Laboratório de Automação e Robótica (LARA) da UnB, cuja infraestrutura está localizada no Campus Universitário Darcy Ribeiro. A Instituição Executora (UnB) garante a disponibilidade de laboratórios de prototipagem, testes de bancada e softwares de simulação necessários. Os parceiros clínicos ( Hospital de Base e Hospital de Apoio) contribuirão com a infraestrutura para a fase de testes clínicos, disponibilizando espaços e acesso a pacientes, fundamental para a validação em ambiente SUS.

A contrapartida da Instituição Executora (detalhada no Item 8.3) é economicamente mensurável e consiste no uso dessas instalações e na alocação de tempo dos docentes e técnicos não remunerados por bolsas FAPDF, garantindo o apoio logístico e administrativo para a gestão do projeto.

### 6.2. Coordenador e Proponente

[7.13. Equipe Técnica: pesquisadores principais, pesquisadores colaboradores, alunos e auxiliares, com indicação dos respectivos currículos Lattes;]

Roberto de Souza Baptista (Coordenador)[[2]](#footnote-2): É professor no curso de Engenharia Eletrônica na Faculdade do Gama, Universidade de Brasília (UnB). É doutor em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e de Automação com habilitação em Engenharia Biomédica na UnB. Sua pesquisa tem foco em Tecnologias Assistivas e Robótica de Reabilitação e possui diversas publicações em congressos internacionais e periódicos de alto impacto da área. Realizou estágio de Doutorado Sanduíche no Instituto Nacional de Pesquisa em Informática e Automática (INRIA) em Montpellier, na França (2015) e estágio de Doutorado Sanduíche na Universidade Técnica de Kaiserslautern, Kaiserslautern, na Alemanha (2013). Possui mestrado em Engenharia Elétrica (2011), com foco em Modelagem e Identificação de Sistemas e Robótica Aérea, e graduação em Engenharia Mecatrônica (2005), ambos pela UnB. Tem experiência na indústria tendo realizado um programa de Trainee na Alemanha pela empresa fabricante de máquinas de fundição sob pressão *Oskar Frech GmBH* e atuado como engenheiro de vendas pela sua subsidiária no Brasil. Suas atividades atuais incluem orientação de alunos de graduação e pós-graduação e coordenação de dois projetos de extensão.

Possuí a seguinte produção acadêmica:

* X artigos completos publicados nos principais periódicos internacionais;
* X capítulos de livros publicados;
* X trabalhos completos publicados nos anais dos principais congressos internacionais e nacionais;
* X orientações de dissertação de mestrado;
* X orientações de tese de doutorado;
* X supervisão de pós-doutorado;
* X orientações de trabalhos de conclusão de curso de graduação;
* X orientações de iniciação científica;
* X orientações de tese de doutorado em andamento;
* X participações em bancas de defesa de dissertação de mestrado;
* X participações em bancas de defesa de teses de doutorado;
* X participações em bancas de qualificação de doutorado;
* X participações em bancas de trabalhos de conclusão de curso de graduação;
* X organizações de eventos, congressos, exposições e feira científicas;
* X participações ou coordenações de projetos de pesquisa.

### 6.3. Equipe de Robótica

[7.13. Equipe Técnica: pesquisadores principais, pesquisadores colaboradores, alunos e auxiliares, com indicação dos respectivos currículos Lattes;]

Henrique Marra Taira Menegaz (Vice-Coordenador)[[3]](#footnote-3): É professor do curso de Engenharia Eletrônica lecionado na Faculdade Gama (FGA) da Universidade de Brasília (UnB). Possui graduação em Engenharia Elétrica UnB (2007), e mestrado (2011) e doutorado (2016) em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e de Automação pela UnB. Tem especialidade em estimação estocástica e controle de sistemas dinâmicos, inteligência artificial e ciência de dados. Tem artigos científicos publicados nos principais periódicos internacionais e outros apresentados nas principais conferências internacionais.

João Luiz Quagliotti Durigan[[4]](#footnote-4) é Professor Associado da Universidade de Brasília, atuando no curso de graduação em Fisioterapia e orientador de Mestrado e Doutorado no Programa em Ciências da Reabilitação e em Educação Física. É líder do Grupo de Pesquisa em Plasticidade Músculo-Tendínea GplasT e Coordenador do Laboratório de Plasticidade Musculotendínea LaPlasT. Também é coordenador do curso de especialização em Fisioterapia Traumato-Ortopédica da UnB. Sou pesquisador associado da University of Delaware (https://sites.udel.edu/kgs/research-team/) e da University of Burgundy (https://www.cepcometti.com/projets-de-recherche/). Possui graduação em Fisioterapia (UNIPAR - 2003), Mestrado em Fisioterapia (UNIMEP - 2006) e Doutorado em Ciências Fisiológicas (UFSCar - 2008). Realizou pós-doutoramento no Institute of Sports Medicine Copenhagen (ISMC - 2009) e na UFSCar (2010-2012). Foi Professor/Pesquisador Visitante na University of Alberta (2018-2019) e na University of Delaware (2023-2024). É Editor Associado do Brazilian Journal of Physical Therapy (BJPT). Além disso, é consultor Ad Hoc da CAPES, CNPq, FAP-DF, FAPESP, FAPEMIG, FUNDECT, FACEPE, DECIT-MS, Programa Institucional de bolsas PIBIC/PIBIT (UnB, UCB, Uniceub, UDF e PUC Minas) e do National Science Center Poland; de vários periódicos nacionais e internacionais. Também atua como avaliador do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior - BASis. É membro da Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação em Fisioterapia (ABRAPG-Ft - 2018-2022: Coordenador Científico) e da Associação Brasileira de Fisioterapia Traumato-Ortopédica (ABRAFITO - 2020-2021: Coordenador Científico de Agentes Eletrofísicos). Foi bolsista CNPq Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico DT-2 (2015-2018). Desenvolve pesquisa básica na área de Fisioterapia, com ênfase em Plasticidade Musculoesquelética, Agentes Eletrofísicos (Eletro-foto-térmicos) e Recursos Biotecnológicos em parceria com pesquisadores nacionais (UFSCar, UCB, UFSM, UPE, UFRGS, UFRJ) e internacionais (França, Suíça, Dinamarca, EUA, Canadá e Austrália). E-mail: joaodurigan@gmail.com ou durigan@unb.br. Website: https://linktr.ee/joaodurigan.

Antônio Padilha Lanari Bo possui graduação em Engenharia de Controle e Automação (2004), mestrado em Engenharia Elétrica (2007) pela Universidade de Brasília (UnB) e doutorado em Sistemas Automáticos e Microeletrônicos (2010) pela LIRMM/Université Montpellier 2, França. Atualmente é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Elétrica da UnB, onde suas atividades se concentram no Laboratório de Automação e Robótica (LARA). É também membro do Núcleo de Tecnologia Assistiva, Acessibilidade e Inovação (NTAAI) e coordenador do Projeto EMA (Empowering Mobility and Autonomy). Tem interesse nas áreas de estimulação elétrica funcional, robótica médica, interação homem-robô, aplicações de controle e estimação em tecnologia de reabilitação e assistência.

Ana Carolina Cardoso de Sousa é engenheira de controle e automação (2012), mestra em sistemas mecatrônicos (2014) e doutora em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e de Automação (2019) pela Universidade de Brasília. Tem sólida formação em estratégias de controle, interfaces humano-robô e soluções biomecânicas. Atualmente é pesquisadora do renomado Laboratório de Engenharia Biomecânica da Universitat Politècnica de Catalunya (Espanha) e contribui para avanços de ponta na biomecânica aplicada às tecnologias de reabilitação. Ao longo da carreira, desenvolveu estratégias de controle para neuroreabilitação em colaboração com engenheiros e clínicos no Brasil, Alemanha, Austrália e Espanha. Atualmente é financiada pela prestigiosa bolsa Beatriu de Pinós 2021 para o projeto "Melhorar a reabilitação de lesões na medula espinhal através do desenvolvimento de novas terapias biónicas usando gêmeos digitais".

[Anselmo]

[Geovany]

[Lucas Fonseca – aguardar OK]

### 6.4. Equipe Médica e Clínica

[7.13. Equipe Técnica: pesquisadores principais, pesquisadores colaboradores, alunos e auxiliares, com indicação dos respectivos currículos Lattes;]

Anselmo

Amauri Araújo Godinho Júnior (Colaborador):

Rodolfo Borges de Lira: Médico Administrador em Saúde pela Associação Brasileira de Medicina Preventiva e Social e Administração em Saúde, assim como pela Associação Médica Brasileira. Master Business Administration em Gestão de Clínicas, Hospitais e Indústrias Hospitalares pela Fundação Getúlio Vargas. Mestrando em Gestão de Políticas Públicas (Escola de Governo FIOCRUZ) Médico Nefrologista pela Universidade de Brasília. Médico Clínico Médico pelo Hospital Regional de Taguatinga.

Giuseppe Cesare Gatto (Colaborador): Graduado em Medicina pela Universidade de Ribeirão Preto (Unaerp) em 2003, é Especialista em Nefrologia pela Sociedade Brasileira de Nefrologia em 2006, MBA pela Fundação Getúlio Vargas em Gestão de Clínicas, Hospitais e Indústria da Saúde, em 2022. Trabalha como médico nefrologista desde 2007, tendo atuado em várias instituições, dentre as quais o Hospital Universitário de Brasília (2007 - atual), da Universidade de Brasília (HUB-UnB), filial da Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH), onde também foi Chefe da Divisão Médica (2015-2017). Foi Coordenador da Central Nacional de Transplante da Secretaria de Atenção à Saúde no Ministério da Saúde (2010-2011), onde também atuou como Consultor Externo (2017-2019). Foi membro do Conselho Curador da Fundação de Apoio ao Hospital Universitário (FAHUB) (2017-2019), e Coordenador da residência de Nefrologia-Transplante do HUB-UnB (2013-atual). Foi Diretor de Atenção à Saúde da Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH) (Fev/2019 - Out/2020). Foi Diretor de Ensino, Pesquisa e Atenção à Saúde da EBSERH de outubro/2022 a março/2023.

Laryssa Gondim Naves Taira Menegaz (Colaboradora): Possui graduação em Medicina pela Universidade Católica de Brasília (2010) e é especialista em Clínica Médica (2013), Cardiologia (2015) e subespecialização em Ecocardiografia (2017). Atualmente atua como preceptora da residência de Cardiologia do Hospital Universitário de Brasília, onde trabalha desde 2015 nos setores de Ecocardiografia e Enfermaria de Cardiologia.

### Alunos

[Caio Sudário – Mestrado]

[Juliana Bispo - Graduação]

[Victor Hugo - Doutorado]

[Doutorando Anselmo]

## 7. Resultados e Impactos Esperados (Item 7.7)

[7.7. Resultados e impactos esperados, em complemento àqueles estabelecidos nos itens 3 e 4 desta Chamada;]

Os resultados e impactos esperados complementam os definidos na Chamada Pública nº 03/2025, com ênfase na transformação da assistência e na autonomia tecnológica do Distrito Federal.

### 7.1. Impacto Funcional e Social Direto

O resultado imediato esperado é o benefício direto a uma população significativa, estimada em 1.500 a 2.000 pacientes anualmente, incluindo vítimas de AVC e lesão medular. A aplicação dos protótipos de exoesqueletos híbridos visa:

●     Melhora da Autonomia: Suporte na reabilitação que fortalece músculos, estimula a neuroplasticidade e possibilita a retomada da marcha (Calabrò et al., 2018; Lee et al., 2023; Rodríguez-Fernández; Lobo-Prat; Font-Llagunes, 2021; Zhang et al., 2024). Exoesqueletos podem aprimorar a capacidade de caminhar, o equilíbrio e reduzir a espasticidade, impactando positivamente a qualidade de vida e a autonomia (Lora-Millan et al., 2023; Pires et al., 2019; Zhang et al., 2024).  
●     Otimização de Custos: Potencial redução do tempo de reabilitação e da necessidade de sessões, resultando em maior eficiência do serviço público e cuidado mais humanizado (Laparidou et al., 2021).  
●     Benefícios Secundários: Prevenção de complicações associadas à imobilidade, como osteoporose, úlceras de pressão e redução da espasticidade, além de gerar impacto emocional positivo (Molazadeh et al., 2021; Rodríguez-Fernández; Lobo-Prat; Font-Llagunes, 2021).

Em resumo, buscam-se os seguintes resultados funcionais e sociais:

**Benefício Clínico Primário:** Redução significativa da incapacidade funcional em população estimada de **1.500 a 2.000 pacientes/ano**, com possibilidade de expansão posterior. Esperados ganhos de: (i) melhora ≥20% em força muscular; (ii) redução ≥30% em espasticidade; (iii) redução de 40% nas sessões de fisioterapia necessárias; (iv) aumento de autonomia funcional.

**Impacto Socioeconômico:** Economia média estimada de R$ 40 mil por paciente ao longo de 5 anos (redução de custos com fisioterapia, cuidadores, internações; ganho com retorno ao trabalho). Projeção de impacto econômico acumulado >R$ 300 milhões em benefício ao SUS-DF em 5 anos.

**Benefícios Secundários:** Prevenção de complicações (osteoporose, úlceras, deformidades); impactos psicológicos positivos; melhoria de qualidade de vida; possibilidade de retorno à atividade produtiva e social.

### 7.2. Geração de Conhecimento, Propriedade Intelectual e Transferência

O projeto produzirá conhecimento de fronteira (publicações científicas) e ativos intangíveis (patentes, softwares). A geração de Propriedade Intelectual (PI) é incentivada, sendo os direitos compartilhados em percentuais iguais entre a FAPDF, o Outorgado/Coordenador e a Instituição Executora, garantindo o retorno público do investimento. A formação de 25 pós-graduandos em 5 anos com o uso de 10 bolsas para Graduação, Mestrado e Doutorado deste edital, garantirá a sustentabilidade intelectual e operacional do Centro, gerando a massa crítica necessária para manter o DF na vanguarda da tecnologia assistiva.

### 7.3. Potencial de Transferência Tecnológica e Sustentabilidade

Um resultado fundamental para o Programa Desafio DF é a geração de insumos que subsidiem futuras aquisições de inovação pelo setor público. O Protótipo Híbrido (MVP - Meta M1), validado clinicamente (Meta M2), funcionará como a **Prova de Conceito (PoC)** necessária. Essa PoC estabelece a viabilidade técnica e a especificação de custo para que a SES-DF/IGESDF possa, subsequentemente, utilizar mecanismos legais (ETEC ou CPSI) para contratar a solução inovadora desenvolvida localmente. Isso impede que o Brasil se torne dependente de soluções importadas, promovendo a autonomia científica e tecnológica do país. O projeto estrutura um modelo de sustentabilidade (Meta M5) que integra o SUS, fomento à inovação e parcerias, posicionando o DF como um polo de inovação em tecnologia assistiva.

### 7.4. Resumo dos impactos

#### Exoesqueleto Comercial

**Benefício Clínico:**

1. População-alvo: 50-80 pacientes/ano (AVC agudo/subagudo, lesão medular incompleta, com potencial de recuperação significativa)
2. Melhora esperada: ≥25% em 10MWT, ≥30% em força, redução de espasticidade

**Benefício Econômico:**

1. Economia ~R$ 60 mil/paciente em 2 anos (redução de internações, fisioterapia intensiva, complicações)

**Capital Humano:**

1. Formação de 2 pós-graduandos (mestrados/doutorado) especializados em reabilitação robótica
2. Capacitação de 30 profissionais SUS-DF em operação de exoesqueleto
3. Expertise em domínio de tecnologia comercial avançada

**Propriedade Intelectual:**

1. Documentação de adaptações e otimizações (registro de melhoria)
2. ≥1 artigo em periódico revisado sobre customizações para população brasileira

#### Andador Robótico Inteligente

**Benefício Clínico:**

1. População-alvo: 1.200-1.700 pacientes/ano (muito ampla: Parkinson, EM, distúrbios de equilíbrio, AVC crônico, idosos)
2. Melhora esperada: ≥25% em 10MWT, ≥40% em TUG, redução ≥60% em risco de queda

**Benefício Econômico:**

1. Economia ~R$ 50 mil/paciente em 5 anos
2. Projeção >R$ 300 milhões de benefício ao SUS-DF em 5 anos

**Capital Humano:**

1. Formação de 2 pós-graduandos em robótica/controle
2. Capacitação de 30 profissionais SUS-DF em operação de andador robótico
3. Expertise em desenvolvimento local de tecnologia

**Propriedade Intelectual:**

1. ≥1 patente de andador robótico
2. ≥1 registro de software (algoritmos de controle)
3. ≥2 artigos em periódicos revisados

#### Impacto Integrado do Centro

**Benefício Total Combinado:**

1. 1.250-1.780 pacientes/ano atendidos com tecnologia robótica de ponta
2. Economia acumulada >R$ 375 milhões em 5 anos
3. Formação de 4 pós-graduandos + 60 profissionais capacitados
4. Posicionamento do DF como **polo nacional de inovação em tecnologia assistiva** com abordagem dual e complementar

**Impacto Estratégico:**

1. Demonstração de viabilidade de duas estratégias de transferência tecnológica: domínio de tecnologia comercial + desenvolvimento autóctone
2. Modelo replicável para outras tecnologias assistivas
3. Atração de investimentos e parcerias internacionais

## 8. Cronograma Físico-Financeiro e Proposta Orçamentária (Item 7.10, 7.11)

[7.10. Cronograma físico-financeiro, incluindo as fases de execução e entregáveis;]

### **8.1. Cronograma Físico-financeiro**

O projeto seguirá cronograma físico-financeiro descrito a seguir. Uma versão iterativa desse cronograma pode ser visualizada neste [link](https://henriquemenegaz.github.io/centro-reabilitacao-cronograma-interativo/)[[5]](#footnote-5).

[7.11. Proposta orçamentária detalhada (em R$);]

### 8.1. Plano de Desembolso em 18 Meses

O projeto terá vigência máxima de 18 meses após a liberação da primeira parcela, com potencial prorrogação justificada. O Cronograma Físico-Financeiro prevê que a maior parte dos recursos de Capital e Bolsas seja desembolsada nas Fases I e II (Mês 1 ao Mês 12) para garantir o rápido estabelecimento da infraestrutura de P&D e a dedicação da equipe de pesquisa.

### 8.2. Proposta Orçamentária Detalhada (R$)

A proposta orçamentária é rigorosamente compatível com o limite máximo de R$ 2.912.000,00 estabelecido pela Chamada Pública nº 03/2025. A alocação de recursos reflete a priorização estratégica do P&D (Capital) e da Formação de Recursos Humanos (Bolsas), um fator que aumenta a consistência e a facilidade de implantação do projeto (Critério 3 - 20% peso).

CCCCC

### 8.3. Discriminação da Contrapartida (Item 7.17)

[7.17. Discriminação sobre a destinação da contrapartida;]

A contrapartida mínima exigida é de 3% do valor global da parceria (Federal, 2025a, 2025b). Calculada sobre R$ 2.912.000,00, a contrapartida mínima é de R$ 87.360,00. A Instituição Executora (UnB) proverá essa contrapartida de forma economicamente mensurável, incluindo a cessão de uso dos laboratórios do LARA, o acesso a softwares institucionais de alto valor e a dedicação de tempo de servidores docentes e técnicos não remunerados por bolsas FAPDF, garantindo o apoio logístico e administrativo para a gestão do projeto. A Tabela abaixo discrimina a contrapartida em valores monetários providenciada pela Universidade de Brasília e pela Universidade Fereral do Espírito Santo.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Especificação** | **Sal./mês (R$)** | **6h/sem (R$)** | **18 meses(R$)** |
| Professor adjunto em dedicação exclusiva | 15983,49 | 2397,52 | 43155,42 |
| Professor associado em dedicação exclusiva | 23185,69 | 3477,85 | 62601,36 |
| Professor adjunto em dedicação exclusiva | 17075,02 | 2561,25 | 46102,55 |
| Professor adjunto em dedicação exclusiva | 13052,04 | 1957,81 | 35240,51 |
| Total |  |  | 187099,85 |

## 9. Valores dos Tributos e Encargos (Item 7.14) e Verbas Rescisórias (Item 7.15)

### 9.1. Tributos e Encargos

[7.14. Valores dos tributos e dos encargos sociais e trabalhistas incidentes sobre as atividades previstas para a execução do objeto, se houverem, ou informações relativas a eventuais imunidades ou isenções;]

A execução do presente projeto **não** prevê a utilização dos recursos da parceria para pagamento de despesas permanentes de pessoal da Instituição Executora, mantendo-se a vinculação dos servidores e bolsistas às regras próprias da UnB e da FAPDF, sem geração de vínculo empregatício com a Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal ou com a Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal. Eventuais contratações de serviços de pessoa jurídica enquadrar-se-ão na rubrica de custeio “Serviços de Terceiros – PJ”, estando sujeitas à tributação própria da contratada (como ISS e tributos federais sobre faturamento), sem repasse de ônus adicionais à FAPDF. Assim, não há, no âmbito deste Plano de Trabalho, previsão de encargos sociais e trabalhistas diretos financiados com recursos da parceria, razão pela qual não se estimam valores específicos a esse título, permanecendo inalteradas as imunidades e isenções já usufruídas pela Instituição Executora na condição de universidade pública, nos termos da Constituição Federal e da legislação tributária aplicável.

### Verbas Recisórias

[7.15. Percentuais e valores que poderão ser provisionados para verbas rescisórias, quando a parceria envolver repasse de recursos para pagamento de despesas de pessoal;]

Considerando que a parceria não envolve repasse de recursos para contratação de pessoal sob regime celetista diretamente vinculado ao projeto, mas sim a concessão de bolsas acadêmicas e a utilização de equipe própria da Instituição Executora, não se prevê a constituição de provisão específica para verbas rescisórias com recursos da FAPDF. Caso, em situação excepcional e devidamente justificada, venha a ser firmada contratação temporária de pessoal com vínculo trabalhista utilizando recursos de custeio, a Instituição Executora assumirá integralmente os respectivos encargos, inclusive rescisórios, os quais serão calculados conforme a legislação trabalhista vigente (incluindo FGTS e multa rescisória), com provisão mínima de referência em torno de 3,2% ao mês sobre a base salarial para a multa rescisória do FGTS, além das demais provisões legais, sem ampliar o valor global aprovado no orçamento do projeto.

## 10. Conclusão e Propriedade Intelectual (Item 3.3.10 & Cláusula Décima Quinta)

A implementação do Centro de Tecnologias de Reabilitação Neuromotora no DF, por meio do desenvolvimento local de exoesqueletos híbridos e inteligentes, representa uma oportunidade estratégica para transformar a política pública de reabilitação. O projeto demonstra total aderência ao Edital Desafio DF ao priorizar a geração de uma Prova de Conceito (MVP) viável e acessível, que pode ser escalonada para o SUS por meio de aquisições inovadoras (ETEC/CPSI), superando o desafio do alto custo das tecnologias importadas.

O investimento de R$ 2.912.000,00 será aplicado primariamente na formação de recursos humanos (M4) e na criação de ativos intelectuais e tecnológicos (M1, M3), consolidando o DF como um polo de P&D em tecnologia assistiva.

Em conformidade com a Cláusula Décima Quinta da Chamada Pública, caso o P&D resulte em criação ou modelo patenteável (Meta M3), os direitos e resultados econômicos serão compartilhados em percentual igual entre a FAPDF (Outorgante), o Coordenador/Outorgado, e a Instituição Executora, garantindo o retorno do investimento à sociedade 1. Este modelo de gestão de PI fortalece o ecossistema de inovação e garante a sustentabilidade do Centro, promovendo um impacto duradouro na qualidade de vida dos pacientes e na autonomia tecnológica brasileira.

A equipe LARA/UnB possui o histórico, a capacidade técnica e as parcerias necessárias para executar o Plano de Trabalho dentro do prazo e orçamento estabelecidos, transformando a pesquisa de ponta em uma solução aplicada e acessível à população do Distrito Federal.

## 12. Referências Bibliográficas (Item 7.18)

[7.18. Referências bibliográficas.]

AFPESP. **Exoesqueleto robótico chega ao SUS em SP para reabilitação de pacientes com AVC e Parkinson**. São Paulo, jun. 2023.

ALIBEJI, Naji A.; KIRSCH, Nicholas Andrew; SHARMA, Nitin. A Muscle Synergy-Inspired Adaptive Control Scheme for a Hybrid Walking Neuroprosthesis. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 3, 21 dez. 2015.

ANDRADE, Valéria Sousa de *et al.* Social participation and personal autonomy of individuals with spinal cord injury. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 72, p. 241–247, 2019.

ARAÚJO, Denizar Vianna *et al.* Análise de custo-efetividade da trombólise com alteplase no Acidente Vascular Cerebral. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 95, p. 12–20, 2010.

BANYAI, Adriana Daniela; BRIȘAN, Cornel. Robotics in Physical Rehabilitation: Systematic Review. **Healthcare**, v. 12, n. 17, p. 1720, jan. 2024.

BEN ABDALLAH, Ismail; BOUTERAA, Yassine; ALOTAIBI, Ahmed. AI-driven hybrid rehabilitation: synergizing robotics and electrical stimulation for upper-limb recovery after stroke. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 13, 25 jun. 2025.

CALABRÒ, Rocco Salvatore *et al.* Shaping neuroplasticity by using powered exoskeletons in patients with stroke: a randomized clinical trial. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**, v. 15, n. 1, p. 35, 25 abr. 2018.

COSER, Omar *et al.* AI-based methodologies for exoskeleton-assisted rehabilitation of the lower limb: a review. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 11, 9 fev. 2024.

DE SANTANA, Nathalia Matos *et al.* The burden of stroke in Brazil in 2016: an analysis of the Global Burden of Disease study findings. **BMC research notes**, v. 11, n. 1, p. 735, 16 out. 2018.

DIAZ, Fabian Horacio; BORRÁS PINILLA, Carlos; GARCÍA CENA, Cecilia E. Exploring Robotic Technologies for Upper Limb Rehabilitation: Current Status and Future Directions. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, v. 14, n. 3, p. 48, jun. 2025.

FALEIROS, Fabiana *et al.* **Prevalence of Intestinal Neurogenic Bowel and Lower Urinary Tract Dysfunctions in Brazilians with Traumatic and Non-Traumatic Spinal Cord Injury**. Research Square, , 24 out. 2024. Disponível em: <https://www.researchsquare.com/article/rs-5046196/v1>. Acesso em: 17 nov. 2025

FALEIROS, Fabiana *et al.* Therapeutic path of Brazilians with spinal cord injury until rehabilitation. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 9342, 18 mar. 2025.

FEDERAL, Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito. **Chamada Pública no 03/2025 vinculada ao Edital no 01/2025 - Programa Desafio DF: Centro de Reabilitação**. Brasília: FAPDF, 2025a.

FEDERAL, Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito. **Edital no 01/2025 - Programa Desafio DF: Promover Chamadas Específicas para Seleção de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação**. Brasília: FAPDF, 2025b.

IBGE, Diretoria de Pesquisas (ORG.). **Pesquisa nacional de saúde**. Rio de Janeiro, RJ: Ibge, 2024.

IVANENKO, Yury *et al.* Editorial: Neural Prostheses for Locomotion. **Frontiers in Neuroscience**, v. 15, 4 nov. 2021.

JAZAYERI, Seyed Behnam *et al.* Incidence of traumatic spinal cord injury worldwide: A systematic review, data integration, and update. **World Neurosurgery: X**, v. 18, p. 100171, 1 abr. 2023.

JOHNSON, Michelle Jillian; MENDONCA, Rochelle J. (ORGS.). **Rehabilitation robots for neurorehabilitation in high, low, and middle income countries: current practice, barriers, and future directions**. S.l.: Academic Press, 2023.

KOELEWIJN, Anne D. *et al.* Adaptation Strategies for Personalized Gait Neuroprosthetics. **Frontiers in Neurorobotics**, v. 15, 16 dez. 2021.

LAPARIDOU, Despina *et al.* Patient, carer, and staff perceptions of robotics in motor rehabilitation: a systematic review and qualitative meta-synthesis. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 18, n. 1, p. 181, dez. 2021.

LEE, Yi-Heng *et al.* Therapeutic Effects of Robotic-Exoskeleton-Assisted Gait Rehabilitation and Predictive Factors of Significant Improvements in Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. **Bioengineering**, v. 10, n. 5, p. 585, maio 2023.

LORA-MILLAN, Julio Salvador *et al.* Robotic exoskeleton embodiment in post-stroke hemiparetic patients: an experimental study about the integration of the assistance provided by the REFLEX knee exoskeleton. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 22908, 21 dez. 2023.

MARQUEZ-CHIN, Cesar; POPOVIC, Milos R. Functional electrical stimulation therapy for restoration of motor function after spinal cord injury and stroke: a review. **Biomedical Engineering Online**, v. 19, n. 1, p. 34, 24 maio 2020.

MARTINS, Sheila Cristina Ouriques *et al.* Reperfusion therapy for acute ischemic stroke: where are we in 2023? **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 81, p. 1030–1039, 2023.

MEHRHOLZ, Jan *et al.* Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. **The Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 9, n. 9, p. CD006876, 3 set. 2018.

MOLAZADEH, Vahidreza *et al.* Shared Control of a Powered Exoskeleton and Functional Electrical Stimulation Using Iterative Learning. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 8, 3 nov. 2021.

NASCIMENTO, Lucas R. *et al.* Predictors of return to work after stroke: a prospective, observational cohort study with 6 months follow-up. **Disability and Rehabilitation**, v. 43, n. 4, p. 525–529, fev. 2021.

NICORA, Giovanna *et al.* **Healthcare practitioners and robotic-assisted rehabilitation: understanding needs and barriers**. Research Square, , 17 dez. 2024. Disponível em: <https://www.researchsquare.com/article/rs-5386162/v1>. Acesso em: 17 nov. 2025

OLIVEIRA, Gláucia Maria Moraes de *et al.* Estatística Cardiovascular – Brasil 2021. **Arq. Bras. Cardiol.**, v. 118, n. 1, p. 115–373, 19 jan. 2022.

PARK, Jong Mi *et al.* Robot-Assisted Gait Training in Individuals With Spinal Cord Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. **Annals of Rehabilitation Medicine**, v. 48, n. 3, p. 171–191, jun. 2024.

PINTO, Daniel *et al.* Budget impact analysis of robotic exoskeleton use for locomotor training following spinal cord injury in four SCI Model Systems. **Journal of Neuroengineering and Rehabilitation**, v. 17, n. 1, p. 4, 10 jan. 2020.

PIRES, Gonçalo *et al.* Reeducação da Marcha na Lesão Medular, a Propósito de Dois Sistemas Robóticos: o Lokomat® e o EKSO GT®. **Revista da Sociedade Portuguesa de Medicina Física e de Reabilitação**, v. 31, n. 3, p. 23–30, 17 out. 2019.

RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, Antonio; LOBO-PRAT, Joan; FONT-LLAGUNES, Josep M. Systematic review on wearable lower-limb exoskeletons for gait training in neuromuscular impairments. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 18, n. 1, p. 22, 1 fev. 2021.

SAFDARIAN, Mahdi *et al.* Global, regional, and national burden of spinal cord injury, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. **The Lancet Neurology**, v. 22, n. 11, p. 1026–1047, 1 nov. 2023.

SANTOS, Emily dos *et al.* Incidence, lethality, and post-stroke functional status in different Brazilian macro-regions: The SAMBA study (analysis of stroke in multiple Brazilian areas). **Frontiers in Neurology**, v. 13, 15 set. 2022.

SUJATHA, S.; BAPAT, Ganesh M.; DASH, Swostik Sourav. GRID: a model for the development of assistive devices in developing countries. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, v. 16, n. 3, p. 317–323, 3 abr. 2021.

TRIGILI, Emilio; HIRCHE, Sandra. Editorial: Wearable robotics in the rehabilitation continuum of care: assessment, treatment and home assistance. **Frontiers in Neurorobotics**, v. 17, 20 out. 2023.

WAGNER, Todd H. *et al.* An economic analysis of robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke. **Stroke**, v. 42, n. 9, p. 2630–2632, set. 2011.

ZHANG, Yuting *et al.* Exoskeleton rehabilitation robot training for balance and lower limb function in sub-acute stroke patients: a pilot, randomized controlled trial. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, v. 21, n. 1, p. 98, 8 jun. 2024.

## ANEXO 1. Cronograma de Atividades

A Tabela XXXXX apresenta o Cronograma de Atividades.

Tabela . Cronograma de Atividades



1. [↑](#footnote-ref-1)
2. <http://lattes.cnpq.br/9399577551123402>. [↑](#footnote-ref-2)
3. <http://lattes.cnpq.br/7607053642642844>. [↑](#footnote-ref-3)
4. [http://lattes.cnpq.br/8295870661549352](%20http:/lattes.cnpq.br/8295870661549352). [↑](#footnote-ref-4)
5. <https://henriquemenegaz.github.io/centro-reabilitacao-cronograma-interativo/>. [↑](#footnote-ref-5)