



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

Blockchain para Saúde Pública - HEALCOIN

Trabalho Final de curso

Relatório Intercalar 2º Semestre

Bernardo Leitão – a22301183

Nelson Almeida – a22304590

Nome do Orientador: Prof. Rui Ribeiro

Trabalho Final de Curso | LEI | abril 2026

www.lusofona.pt

Direitos de cópia

Saúde Pública - HEALCOIN, Copyright de Bernardo Leitão e Nelson Almeida, Universidade Lusófona.

A Escola de Comunicação, Arquitectura, Artes e Tecnologias da Informação (ECATI) e a Universidade Lusófona (UL) têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Resumo

Este relatório apresenta o projeto **HEALCOIN**, desenvolvido em parceria com a empresa médica promotora Hotsmile Lda (NIF 515401285) para responder ao subfinanciamento do tratamento do Pé Diabético em Portugal. A solução propõe uma arquitetura técnica híbrida assente em tecnologia *blockchain* de **Camada 2 (Layer 2)**, fundamental para reduzir custos operacionais e viabilizar economicamente as micro-doações, superando as limitações de escalabilidade das redes base. Para além de garantir a rastreabilidade auditável dos fundos, o sistema inova ao introduzir um modelo de *tokenomics* que recompensa a educação e intervenção médica. O documento detalha a engenharia de requisitos e a arquitetura do sistema, validando a viabilidade da aplicação de tecnologias descentralizadas na saúde pública.

Palavras-chave: Blockchain, Layer 2, Pé Diabético, Financiamento Descentralizado, Tokenomics, Engenharia de Software.

Abstract

This report presents the **HEALCOIN** project, developed in partnership with **Hotsmile Lda.** to address the underfunding of Diabetic Foot treatment in Portugal. The solution proposes a hybrid technical architecture based on **Layer 2 blockchain** technology, which is fundamental to reducing operational costs and economically enabling **micro-donations**, overcoming the scalability limitations of base networks. Beyond ensuring the auditable traceability of funds, the system innovates by introducing a *tokenomics* model that rewards medical education and clinical intervention. The document details the requirements engineering and system architecture, validating the viability of applying decentralized technologies in public health.

Keywords: Blockchain, Layer 2, Diabetic Foot, Decentralized Finance, Tokenomics, Software Engineering.

Índice

Resumo.....	iii
Abstract	iv
Índice.....	v
Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas.....	viii
1 Identificação do Problema.....	1
1.1 A Envoltiva do Problema e o Suporte de Terceiros.....	1
1.2 O Problema Sistêmico: A Crise no Financiamento da Saúde.....	1
1.3 O Problema Específico: O Impacto do Pé Diabético	1
1.4 A Solução Proposta: HEALCOIN como Ferramenta de Transformação.....	2
1.5 Governança, Responsabilização e Privacidade	3
2 Benchmarking.....	5
2.1 Enquadramento Teórico e Científico do Problema.....	5
2.2 Estado da Arte e Soluções Alternativas.....	5
2.2.1 Modelo Tradicional (Web2): Financiamento Centralizado	5
2.2.2 Modelo Emergente (Web3): Financiamento Descentralizado	6
2.3 Análise Comparativa e Diferenciação Tecnológica	6
2.3.1 Eficiência de Custos e Micro-Transações	6
2.3.2 Rastreabilidade e Transparência.....	6
2.3.3 Modelo de Incentivo (Tokenomics)	6
2.3.4 Quadro Resumo Comparativo	7
2.3.5 Conclusão da Análise.....	7
3 Viabilidade e Pertinência.....	8
3.1 Pertinência e Relevância Social.....	8
3.2 Viabilidade do Projeto	8
3.3 Validação por Especialista Reconhecido	8
4 Engenharia.....	9
4.1 Metodologia de Desenvolvimento.....	9
4.2 Identificação de Atores.....	9
4.3 Levantamento de Requisitos	9

4.3.1	Requisitos Funcionais (RF)	9
4.3.2	Requisitos Não-Funcionais (RNF)	10
5	Solução Proposta	11
5.1	Arquitetura da Solução	11
5.2	Fundamentação Tecnológica	11
5.3	Abrangência e Enquadramento Académico	12
5.4	Diagrama de Arquitetura Técnica	12
5.5	Fluxo de Navegação e Estrutura Funcional	13
5.6	Mockups da Interface	14
5.7	Modelo de Dados Off-chain (Base de Dados)	16
5.7.1	Arquitetura Relacional	17
5.8	Arquitetura de Smart Contracts (On-chain)	19
5.8.1	Emissão do Ativo (Token HEAL)	19
5.8.2	Padrão Arquitetural (Factory Contract)	20
5.8.3	Custódia e Devoluções (O Cofre)	20
5.8.4	Gatilho de Libertação (Release)	20
5.9	Fluxos Operacionais e Integração Web3	20
5.9.1	Fluxo de Financiamento (Depósito Fiduciário e Alocação)	20
5.9.2	Fluxo de Execução Clínica (Validação e Libertação)	21
5.9.3	Infraestrutura de Comunicação e Node Provider	22
6	Calendário / Metodologia e Planeamento	23
7	Testes e Validação	25
7.1	Validação de Smart Contracts (On-chain)	25
7.2	Testes Unitários de Backend (Off-chain)	25
7.3	Testes de Interface e Usabilidade (Frontend)	25
8	Conclusão	26
	Bibliografia	27
	Glossário	28

Lista de Figuras

FIGURA 1 - DIAGRAMA DE CONTENTORES (C4 MODEL) DA ARQUITETURA DE SISTEMA DO HEALCOIN ..	13
FIGURA 2 - DIAGRAMA DE FLUXO DE NAVEGAÇÃO E ESTRUTURA FUNCIONAL DA PLATAFORMA HEALCOIN	14
FIGURA 3 - PÁGINA INICIAL (LANDING PAGE) DA PLATAFORMA HEALCOIN.....	15
FIGURA 4 - INTERFACE DE AUTENTICAÇÃO E REGISTO DE UTILIZADORES.....	15
FIGURA 5 - PAINEL DE CONTROLO (DASHBOARD) DA ÁREA PRIVADA DO DOADOR	16
FIGURA 6 - PAINEL DE GESTÃO DA ÁREA PRIVADA DA INSTITUIÇÃO PARCEIRA	16
FIGURA 7 - MODELO ERD: DOMÍNIO CORE.....	18
FIGURA 8 - MODELO ERD: SISTEMA INTEGRAL (FÍSICO)	19
FIGURA 9 - DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA: FLUXO DE DOAÇÃO (SIMULAÇÃO).....	21
FIGURA 10 - DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA: FLUXO DE LIBERTAÇÃO DE FUNDOS	21
FIGURA 11 - DIAGRAMA DE GANTT COM O PLANEAMENTO TEMPORAL DO PROJETO HEALCOIN.....	23

Lista de Tabelas

TABELA 1 - MATRIZ COMPARATIVA ENTRE SOLUÇÕES TRADICIONAIS, CRIPTO-FILANTROPIA L1 E O HEALCOIN	7
---	---

1 Identificação do Problema

1.1 A Envolvente do Problema e o Suporte de Terceiros

O presente Trabalho Final de Curso (TFC) não se baseia num problema académico abstrato, mas sim numa necessidade real e documentada, identificada por um elemento externo (terceiro) que atua na linha da frente do sistema de saúde. O *case study* em análise resulta de uma proposta de parceria académica formalizada pela entidade legal Hotsmile Lda. (NIF 515401285), promotora do projeto HEALCOIN e responsável pelas atividades clínicas, através do seu fundador, o Dr. Carlos Damas [Dama25].

O Dr. Carlos Damas, proponente do projeto, é médico-cirurgião com mais de 20 anos de experiência clínica, atualmente coordenador da Unidade de Cirurgia Digestiva e Funcional da Unidade Local de Saúde (ULS) S. José em Lisboa. A sua unidade lida diretamente com o tratamento de doentes diagnosticados com Pé Diabético [Dama25]. Esta patologia é uma das complicações mais graves, dispendiosas e debilitantes da Diabetes Mellitus, afetando milhões de indivíduos a nível global e exigindo estratégias de intervenção coordenadas [OMS23]. No contexto português, o Pé Diabético representa uma fatia significativa dos internamentos hospitalares, sobrecarregando severamente os recursos do Serviço Nacional de Saúde [DGS24].

Esta parceria confere ao TFC um enquadramento prático imediato: a solução a desenvolver não é um protótipo isolado, mas sim a base tecnológica de uma iniciativa real que visa transformar o financiamento e a gestão de cuidados de saúde em Portugal.

1.2 O Problema Sistémico: A Crise no Financiamento da Saúde

A envolvente do problema assenta na constatação de uma crise estrutural e silenciosa no Serviço Nacional de Saúde (SNS) em Portugal. Embora o conhecimento médico e a tecnologia tenham evoluído, o sistema de saúde enfrenta limitações orçamentais, escassez de profissionais e ineficiências organizativas [Dama25].

Na visão do proponente, o sistema atual "resiste, mas não se reinventa", criando uma fragmentação que afeta diretamente os doentes. É nesta lacuna de financiamento sustentável e de gestão transparente que o problema central do projeto se foca.

1.3 O Problema Específico: O Impacto do Pé Diabético

O Pé Diabético é uma das complicações mais graves, dispendiosas e debilitantes da Diabetes Mellitus. Clinicamente, traduz-se no desenvolvimento de úlceras profundas e infeções graves nos membros inferiores, resultantes da perda de sensibilidade (neuropatia) e da má circulação sanguínea. No entanto, o seu verdadeiro impacto vai muito além da vertente estritamente médica; trata-se de uma emergência social.

Para o paciente, o diagnóstico de uma úlcera diabética grave representa uma contagem decrescente. O atraso no tratamento ou na intervenção cirúrgica – frequentemente provocado pelas longas listas de espera no Serviço Nacional de Saúde (SNS) – resulta, numa grande percentagem de casos, na amputação do membro. O impacto no dia-a-dia é devastador: a perda de mobilidade leva à incapacidade para o trabalho, perda de rendimentos, isolamento social e, frequentemente, a quadros de depressão profunda.

A Escassez de Recursos e o Papel das Unidades Locais de Saúde (ULS)

Centralizadas nas ULS, as decisões orçamentais de saúde em Portugal priorizam o risco de vida imediato, relegando frequentemente intervenções reconstrutivas como o Pé Diabético para segundo plano. Este subfinanciamento crónico empurra os doentes para listas de espera que muitas vezes ultrapassam a janela de oportunidade clínica, resultando em amputações evitáveis. É neste hiato que o projeto HEALCOIN intervém, canalizando financiamento privado e social para atuar atempadamente, garantindo a preservação da autonomia do doente e evitando que a falta de recursos públicos dite uma sentença de amputação.

A Barreira da Transparência no Financiamento Social

O financiamento filantrópico tradicional enfrenta uma crise de transparência devido à perda de rastreabilidade do capital doado. O projeto HEALCOIN resolve diretamente esta opacidade através da tecnologia *Blockchain*. Ao utilizar redes de Camada 2 (Layer 2) [EthF25], o sistema garante a rastreabilidade imutável de cada cêntimo até ao desfecho clínico, mantendo custos transacionais residuais que viabilizam economicamente as micro-doações.

1.4 A Solução Proposta: HEALCOIN como Ferramenta de Transformação

Para dar resposta a este problema, o projeto HEALCOIN propõe o desenvolvimento de uma plataforma digital híbrida, cruzando a facilidade de utilização da web tradicional com a transparência das tecnologias descentralizadas.

O Modelo de Financiamento e a Plataforma Híbrida

O modelo operacional baseia-se em campanhas de crowdfunding direcionadas a pacientes específicos. A plataforma oferece uma interface intuitiva onde qualquer utilizador pode doar, sem necessitar de conhecimentos técnicos sobre criptomoedas. Quando uma doação fiduciária é realizada, o valor é convertido em tokens da plataforma e retido de forma automática num cofre virtual (Smart Contract). Estes fundos apenas são libertados e transferidos para a entidade promotora parceira (Hotsmile Lda) após a validação clínica formal de que a cirurgia foi executada.

O objetivo é criar um paradigma de financiamento descentralizado para a saúde. A tecnologia *blockchain* é aqui utilizada como a ferramenta-chave para resolver o problema da falta de

transparência. A solução visa garantir que os fundos doados são rastreáveis e aplicados eficazmente no terreno, financiando diretamente pensos, equipamentos e consultas, ou recompensando iniciativas de educação médica.

Conceitos Base (Blockchain e Polygon)

Para garantir que os fundos chegam ao destino de forma transparente, a plataforma abstrai do utilizador final a seguinte infraestrutura técnica:

- **Blockchain:** Atua como um livro de registos digital, público e imutável. Uma vez que a doação é gravada neste registo, torna-se impossível alterá-la ou desviar os fundos secretamente, garantindo uma rastreabilidade total do dinheiro doado [Ant18].
- **Rede Polygon:** Uma vez que o sistema depende de micro-doações, processar estas transações na rede principal (Ethereum) seria financeiramente inviável devido às altas taxas cobradas. A escolha da Polygon (uma rede de Camada 2) funciona como uma "via verde" que permite registar transações de forma quase instantânea e a custos residuais (frações de cêntimo), mantendo a segurança exigida [Poly23].

1.5 Governação, Responsabilização e Privacidade

A viabilidade do projeto HEALCOIN em ambiente institucional depende de regras claras de governação e do estrito cumprimento ético e legal no tratamento de dados médicos.

Fluxo Operacional e Governação Institucional

O ecossistema assenta numa governação bem definida entre a entidade promotora (Hotsmile Lda), a equipa clínica e os doadores. O fluxo prático inicia-se com a triagem médica do paciente, após a qual a entidade promotora cria a campanha na plataforma. Durante a fase de angariação, os donativos ficam cativos no Smart Contract. A governação do sistema dita que os fundos apenas são libertados para a clínica executante após a submissão formal de um comprovativo médico de realização da cirurgia, eliminando o risco de pagamento por serviços não prestados.

Controlo e Responsabilização (Accountability)

Um dos grandes desafios das fundações tradicionais é a demonstração de que os fundos não foram absorvidos por custos administrativos. A utilização da *blockchain* resolve este problema de accountability. Através de um explorador de blocos público, a sociedade e os doadores podem auditar, de forma independente e em tempo real, os saldos dos contratos e o fluxo do dinheiro, garantindo que o valor doado foi integralmente alocado à intervenção cirúrgica de destino [Ocd18].

Confidencialidade e Conformidade com o RGPD

Dada a natureza pública e transparente da *blockchain*, a proteção do sigilo médico é o pilar arquitetural do sistema. Para garantir a conformidade com o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD), a plataforma implementa uma segregação estrita de dados (on-chain vs off-chain). Toda a informação sensível do paciente (identidade, relatórios clínicos, fotografias) é armazenada off-chain, numa base de dados relacional cifrada com acesso restrito apenas à equipa médica. Na *blockchain* (on-chain), são processados exclusivamente dados pseudo-anonimizados, tais como identificadores únicos de campanha e valores financeiros transacionados, assegurando que a transparência financeira nunca compromete a confidencialidade do paciente [UE16].

2 Benchmarking

Este capítulo analisa o enquadramento teórico do problema que o HEALCOIN visa resolver e o estado da arte das soluções atuais.

Para a compreensão desta análise, importa clarificar os conceitos tecnológicos fundamentais. A Web2 refere-se à internet centralizada, onde os dados e fundos são geridos por entidades únicas (bancos ou instituições). A Web3 assenta na Blockchain, um registo digital descentralizado e imutável que permite a transferência de valor sem intermediários. Neste contexto, a Cripto-filantropia surge como o uso de Criptoativos (representações digitais de valor) para fins sociais, garantindo transparência nativa através de registos on-chain (gravados diretamente na rede).

2.1 Enquadramento Teórico e Científico do Problema

O problema que o projeto HEALCOIN aborda assenta em duas vertentes teóricas: uma biomédica e uma socio-organizacional.

1. **A Vertente Biomédica (O Pé Diabético):** Cientificamente, o problema foca-se nas complicações da diabetes mellitus. Em Portugal, esta doença afeta cerca de 14% da população adulta [OND23].
2. **A Vertente Socio-Organizacional (A Crise de Financiamento):** Teoricamente, o modelo de financiamento do Serviço Nacional de Saúde (SNS) enfrenta uma "crise estrutural". A solução proposta parte do pressuposto de que os modelos tradicionais (centralizados) de alocação de recursos são insuficientes.

2.2 Estado da Arte e Soluções Alternativas

O estado da arte no financiamento de causas sociais e de saúde divide-se em dois modelos principais: o tradicional (Web2) e o emergente (Web3).

2.2.1 Modelo Tradicional (Web2): Financiamento Centralizado

A alternativa dominante consiste em doações a organizações não-governamentais (ONGs) centralizadas ou fundos estatais.

- **Descrição:** O financiamento é gerido por grandes instituições (ex: UNICEF, Cruz Vermelha ou o próprio SNS). Os fundos são recolhidos através de métodos tradicionais (transferência bancária, MB Way) e alocados por uma administração central.
- **Vantagens:** Estrutura legal estabelecida e, por vezes, confiança pública consolidada.
- **Desvantagens:** Este modelo pode sofrer de falta de transparência. O doador tem pouca ou nenhuma visibilidade sobre a alocação de recursos.

2.2.2 Modelo Emergente (Web3): Financiamento Descentralizado

Nos últimos anos, a *blockchain* (Web3) surgiu como uma ferramenta para resolver as falhas do modelo tradicional.

- **Descrição:** Projetos que utilizam criptomoedas ou *Smart Contracts* para facilitar doações. Exemplos incluem o "Crypto Fund" da UNICEF, que aceita doações em criptomoedas, ou o "Building Blocks" do Programa Alimentar Mundial (WFP), que usa *blockchain* para gerir transferências de dinheiro para refugiados.
- **Vantagens:** Potencial de transparência total, rastreabilidade *on-chain* e redução de intermediários.
- **Desvantagens:** A utilização de *tokens* voláteis (como Bitcoin), a complexidade da experiência do utilizador (UX) que exige a gestão de carteiras digitais e taxas de gás (*gas fees*) em redes Layer 1, que tornam as micro-doações financeiramente inviáveis.

2.3 Análise Comparativa e Diferenciação Tecnológica

A comparação do HEALCOIN com os sistemas tradicionais (Web2) e a cripto-filantropia em Layer 1 revela lacunas de eficiência e transparência que a solução proposta resolve através de três vetores tecnológicos.

2.3.1 Eficiência de Custos e Micro-Transações

As taxas fixas da Web2 e as *gas fees* voláteis da Ethereum (L1) inviabilizam financeiramente as micro-doações. O HEALCOIN mitiga este obstáculo operando na rede Polygon (Layer 2) [Dama25], reduzindo os custos transacionais para valores residuais [Poly25]. Isto assegura a eficiência económica de pequenos montantes, garantindo que a quase totalidade do capital é integralmente aplicada na causa.

2.3.2 Rastreabilidade e Transparência

Em contraste com a opacidade dos fundos tradicionais ("caixa negra") e a generalidade das doações Web3 atuais, o HEALCOIN implementa uma auditabilidade específica. A solução vincula o fluxo de *tokens* ao financiamento de atos concretos, como pensos, consultas e equipamentos. A *blockchain* assegura, assim, uma transparência total e verificável da aplicação dos fundos.

2.3.3 Modelo de Incentivo (Tokenomics)

A inovação central reside na substituição do modelo de doação passivo por um ecossistema ativo.

A conceção económica do *token* HEAL transcende a sua função basilar de mero veículo de transferência de valor monetário (doações). O sistema prevê a implementação de um modelo de incentivos comportamentais centrado na prevenção.

Na prática, isto significa que a plataforma poderá recompensar financeiramente (através da emissão e atribuição de frações de *tokens* HEAL) os pacientes que demonstrem adesão a boas práticas clínicas, como a presença assídua em consultas de rastreio ou a conclusão de módulos de educação médica sobre cuidados profiláticos.

Este mecanismo de recompensa cria um ecossistema sustentável, onde o financiamento não atua apenas na fase curativa e cirúrgica, mas incentiva ativamente a fase preventiva, reduzindo a incidência a longo prazo [Dama25].

Este mecanismo circular incentiva a melhoria contínua dos cuidados de saúde, algo inexistente nas soluções concorrentes.

2.3.4 Quadro Resumo Comparativo

Tabela 1 - Matriz comparativa entre soluções tradicionais, cripto-filantropia L1 e o HEALCOIN

Critério de Análise	Modelo Tradicional (Web2)	Cripto-Filantropia (Layer 1)	Solução Proposta (HEALCOIN)
Infraestrutura	Bancária / Centralizada	Ethereum Mainnet (L1)	Polygon Network (L2)
Custo Transação	Elevado (Intermediários)	Muito Elevado (<i>Gas Fees</i>)	Mínimo (Fração de cêntimo)
Micro-Doações	Ineficiente	Inviável	Viável
Transparência	Opaca	Genérica	Auditável
Destino Fundos	Orçamento Geral	Carteira da ONG	Específico (e.g. Pé Diabético)

2.3.5 Conclusão da Análise

Nenhuma das soluções analisadas combina a eficiência de custos da Layer 2 com incentivos clínicos tokenizados. O HEALCOIN inova ao transformar a caridade num investimento em resultados verificáveis, validando este modelo no tratamento do Pé Diabético, embora aplicável a diversas outras patologias.

3 Viabilidade e Pertinência

Este capítulo demonstra a viabilidade técnica e económica do projeto HEALCOIN, bem como a sua pertinência social e clínica, fundamentada em dados concretos e na validação por especialistas do setor da saúde.

3.1 Pertinência e Relevância Social

A relevância do projeto fundamenta-se em dados epidemiológicos concretos: a diabetes afeta cerca de 14% da população portuguesa, com o Pé Diabético a atingir entre 10.000 e 40.000 pessoas [Dama25]. O HEALCOIN responde diretamente à necessidade de novas fontes de financiamento para o SNS, mitigando uma crise estrutural identificada no tratamento destas patologias.

3.2 Viabilidade do Projeto

A viabilidade económica é assegurada pela utilização da rede Polygon, cujas taxas reduzidas viabilizam o modelo de micro-doações [Poly25]. A continuidade do projeto pós-TFC é garantida pela estrutura de suporte da Hotsmile Lda., que já possui domínio ativo e carteira de gestão de fundos, prevendo-se a escalabilidade futura para outras doenças crónicas.

3.3 Validação por Especialista Reconhecido

A solução tem validação direta por terceiros qualificados: os requisitos funcionais e clínicos foram definidos pelo Dr. Carlos Damas, médico-cirurgião com mais de 20 anos de experiência e Coordenador da Unidade de Cirurgia Digestiva e Funcional da Unidade Local de Saúde (ULS) S. José [Dama25]. Esta validação por um especialista do setor assegura que a tecnologia responde a necessidades reais do terreno.

4 Engenharia

Este capítulo dedica-se à fase de análise e engenharia de requisitos, definindo o comportamento esperado do sistema, os atores envolvidos e a metodologia de gestão adotada.

4.1 Metodologia de Desenvolvimento

O projeto adota a metodologia ágil Kanban, via Microsoft Planner, garantindo uma gestão visual do fluxo de trabalho. Dada a natureza exploratória do TFC, esta abordagem permite total flexibilidade e adaptação em tempo real: novos requisitos ou limitações técnicas são continuamente adicionados ao backlog e repriorizados, assegurando ciclos de entrega contínuos e eficientes.

4.2 Identificação de Atores

Foram identificados três atores principais que interagem com o sistema:

1. **Doador:** O utilizador que financia a causa. Interage exclusivamente com a interface Web2 para realizar doações utilizando métodos fiduciários tradicionais (MB Way, Cartão de Crédito, Transferência Bancária, etc.). Embora não interaja diretamente com criptomoedas, consulta a plataforma para verificar o destino dos seus fundos registado na *blockchain*.
2. **Gestor da Fundação (Hotsmile):** Responsável pela validação de novos parceiros (hospitais), criação de novas campanhas (via *Factory Contract*) e supervisão da governação e dos fundos recebidos.
3. **Parceiro Clínico (Hospital/Médico):** A entidade beneficiária que recebe os fundos e regista as evidências de execução (ex: número de curativos realizados), desbloqueando as tranches de financiamento.

4.3 Levantamento de Requisitos

4.3.1 Requisitos Funcionais (RF)

Os requisitos funcionais descrevem as operações específicas do sistema:

- **RF01 - Gestão de Identidade:** O sistema deve permitir a autenticação de utilizadores via credenciais Web2 (email/password), abstraindo a complexidade da gestão de chaves criptográficas.
- **RF02 - Processamento de Doações Fiat:** O sistema deve integrar *gateways* de pagamento tradicionais para converter moeda fiduciária (EUR) em *tokens* de valor equivalente na *blockchain*, creditando-os no contrato do projeto.

- **RF03 - Criação de Projetos (Factory Contract):** O sistema deve utilizar o padrão *Factory Contract* para instanciar automaticamente novos contratos de doação inteligentes para cada nova unidade de saúde ou patologia, garantindo escalabilidade e padronização.
- **RF04 - Rastreabilidade Pública:** O sistema deve apresentar um *dashboard* público que leia os dados da rede *blockchain* selecionada (Layer 2) e exiba o fluxo de fundos e a sua aplicação em tempo real.
- **RF05 - Recompensas (Tokenomics):** O sistema deve permitir a distribuição automática de *tokens* de incentivo a profissionais de saúde mediante a validação *on-chain* de atos clínicos ou educativos.
- **RF06 - Emissão de Comprovativo Fiscal:** O sistema deve gerar automaticamente um recibo de donativo para o doador, cumprindo os requisitos legais para dedução em sede de IRS (Lei do Mecenato) [EBF24]. Adicionalmente, deve persistir os dados necessários (NIF, Valor, Data) para a posterior comunicação anual à Autoridade Tributária através da Declaração Modelo 25.

Nota sobre o RF06: Em Portugal, para que o doador usufrua dos benefícios fiscais (dedução à coleta), a entidade beneficiária (Fundação) deve emitir recibo e comunicar os donativos à AT anualmente (geralmente até fevereiro do ano seguinte) via **Modelo 25**. O sistema não precisa de comunicar em "tempo real" com a AT, mas tem obrigatoriamente de registar e estruturar esses dados para a submissão anual.

4.3.2 Requisitos Não-Funcionais (RNF)

Os requisitos não-funcionais definem a qualidade e as restrições do sistema:

- **RNF01 - Baixo Custo de Operação:** As transações na *blockchain* devem ter um custo de rede (*gas fee*) residual para viabilizar micro-doações sem erodir o valor doado.
- **RNF02 - Auditabilidade:** Todas as transações de fluxo de fundos devem ser imutáveis e publicamente verificáveis num explorador de blocos.
- **RNF03 - Gestão de Carteiras (Custodial):** O sistema deve operar em modo **Custodial** (Custódia), onde a plataforma gere as chaves privadas e as carteiras *blockchain* em nome do utilizador, removendo a responsabilidade técnica do doador (contrário de *self-custody*).
- **RNF04 - Compatibilidade:** Os *Smart Contracts* devem ser desenvolvidos para redes compatíveis com a Ethereum Virtual Machine (EVM).

5 Solução Proposta

Este capítulo detalha a arquitetura técnica desenhada para responder aos requisitos de engenharia, fundamentando as escolhas tecnológicas e o enquadramento académico da solução nas disciplinas da Licenciatura.

5.1 Arquitetura da Solução

A solução HEALCOIN adota uma arquitetura híbrida que interliga a Web2 e a Web3, composta por quatro componentes lógicos fundamentais para garantir a operação e a persistência de dados:

1. **Camada de Apresentação (Frontend):** Uma Aplicação Web que serve como ponto de contacto intuitivo para doadores e médicos, ocultando a complexidade da *blockchain*. Comunica com o *backend* para pagamentos e leitura de dados.
2. **Camada de Lógica e Serviços (Backend):** O servidor central que gere a autenticação, o processamento de pagamentos fiat e a interação segura com a *blockchain* (gestão das carteiras custodais e *Gas Relayer*).
3. **Camada de Persistência de Dados (Base de Dados):** Uma base de dados relacional (SQL) responsável por armazenar dados sensíveis e estruturados *off-chain*, essenciais para o funcionamento legal e operacional, tais como: perfis de utilizadores, dados para emissão de recibos fiscais (NIF, morada) e registos de auditoria interna.
4. **Camada de Infraestrutura Descentralizada (Blockchain & Smart Contracts):** O núcleo *Web3* onde residem as regras de negócio imutáveis (*Smart Contracts*) e onde ocorre a liquidação financeira transparente das doações e recompensas.

5.2 Fundamentação Tecnológica

A seleção das tecnologias visa responder aos requisitos de eficiência e usabilidade:

- **Rede Blockchain (Layer 2):** A opção por uma rede de Camada 2 (como a Polygon) em detrimento de uma Layer 1 fundamenta-se no **RNF01 (Baixo Custo)**. É imperativo reduzir as taxas de gás para valores de centavos e aumentar a velocidade das transações para suportar micro-doações em escala [Poly25].
- **Linguagem Solidity:** Escolhida por ser o padrão da indústria para redes EVM, permitindo a implementação da lógica complexa do *Factory Contract* e do padrão ERC-20.
- **Carteiras Custodais:** A opção por uma arquitetura custodial (**RNF03**) justifica-se pela necessidade de eliminar barreiras de entrada. O doador comum não deve necessitar de gerir *seed phrases* ou adquirir criptomoedas previamente para participar.

5.3 Abrangência e Enquadramento Académico

A construção da solução HEALCOIN mobiliza competências transversais adquiridas ao longo da Licenciatura em Engenharia Informática da Universidade Lusófona, validando a abrangência técnica do TFC. Destacam-se as seguintes Unidades Curriculares (UC) aplicadas:

- **Engenharia de Software, Requisitos e Testes:** Aplicação prática do ciclo de vida de desenvolvimento de software. Inclui a gestão de projeto com metodologias ágeis (Kanban), o levantamento e especificação formal de requisitos (funcionais e não-funcionais), o desenho da arquitetura do sistema e a definição de estratégias de validação da solução.
- **Sistemas Distribuídos:** Aplicação de conceitos de descentralização, consenso e imutabilidade através da implementação na rede *blockchain*.
- **Desenvolvimento de Aplicações Web:** Desenvolvimento das interfaces de utilizador (Frontend) e integração de serviços (API) para a comunicação entre a plataforma e a *blockchain*.
- **Bases de Dados:** Modelação e persistência de dados off-chain (utilizadores, registos fiscais) em articulação com o registo distribuído on-chain.

5.4 Diagrama de Arquitetura Técnica

A arquitetura do sistema foi desenhada para garantir a interoperabilidade entre os componentes centralizados (*off-chain*) e descentralizados (*on-chain*). A **Figura 1** apresenta o diagrama de contentores da solução (Modelo C4), detalhando as responsabilidades de cada módulo e os fluxos de comunicação.

O sistema estrutura-se em quatro blocos fundamentais:

1. **Frontend (Aplicação Web):** O ponto de interação único para os atores (Doador e IPSS), responsável pela interface visual.
2. **Backend Central:** O núcleo lógico que orquestra as operações, garantindo a persistência de dados sensíveis na **Base de Dados** e comunicando com os serviços externos.
3. **Serviços Web3:** Um conjunto de microsserviços especializados que abstraem a complexidade da *blockchain*, incluindo o *Blockchain Scanner* (leitura), *WaaS* (gestão de carteiras) e *Contract Manager* (escrita).
4. **Blockchain:** O sistema externo onde ocorre a liquidação financeira.

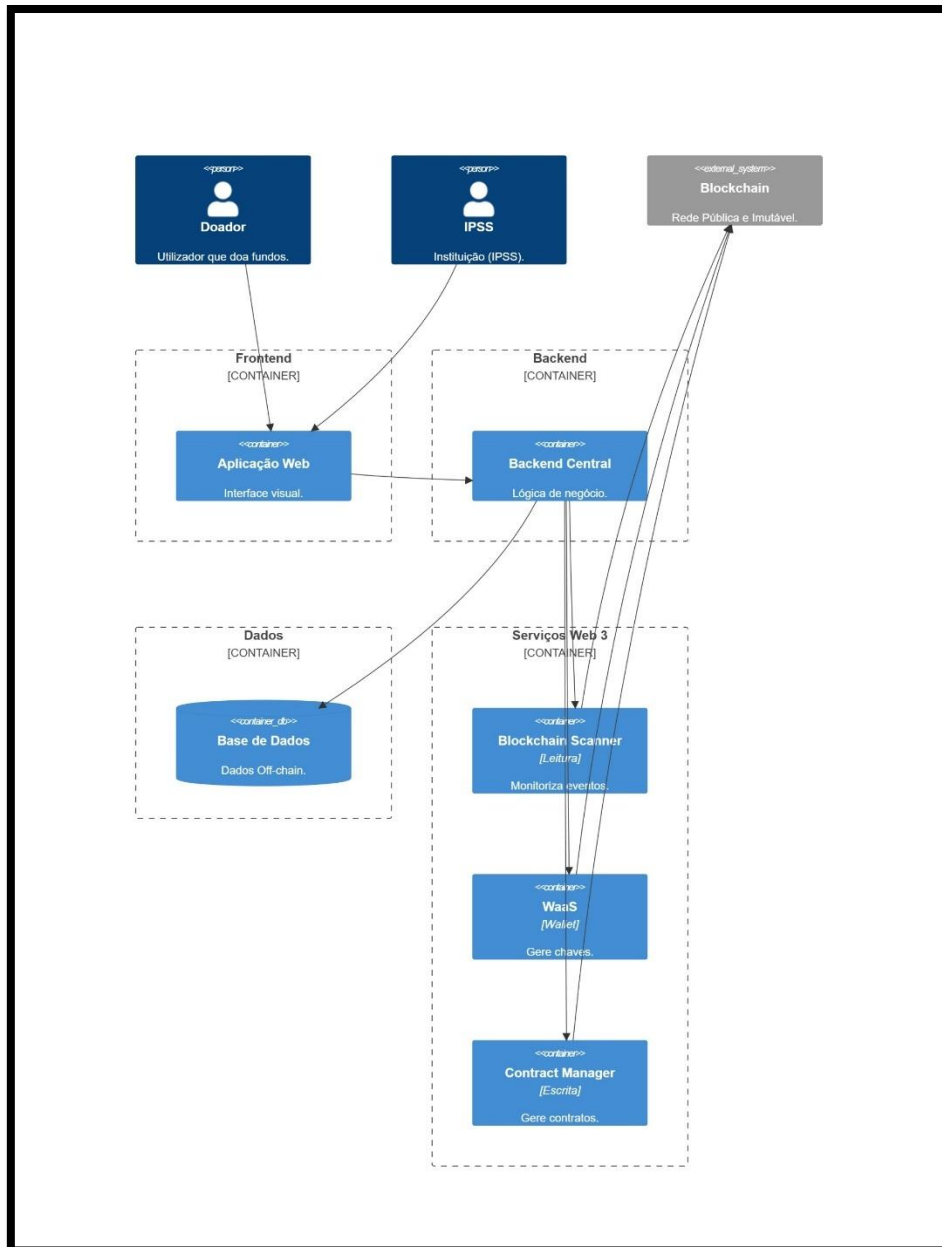


Figura 1 - Diagrama de contêntores (C4 Model) da arquitetura de sistema do HEALCOIN

5.5 Fluxo de Navegação e Estrutura Funcional

A materialização da solução na interface de utilizador segue uma lógica de segregação estrita de perfis, garantindo a segurança e a especificidade das operações. A **Figura 2** ilustra o mapa de navegação e a estrutura funcional da plataforma, evidenciando a separação entre a camada pública e as áreas reservadas.

O fluxo inicia-se na **Área Pública**, comum a todos os visitantes. Após o processo de autenticação, o sistema encaminha o utilizador para o *Dashboard* específico correspondente ao seu perfil, ativando funcionalidades distintas:

1. **Perfil Instituição:** Acesso privilegiado para a gestão operacional, permitindo a criação de novas campanhas e a submissão de evidências de despesa (*Upload* de Comprovativos) para validação de marcos.
2. **Perfil Doador:** Acesso focado na gestão financeira pessoal, incluindo o carregamento de saldo (compra de *tokens*), a execução da doação e a consulta de histórico para efeitos de declaração fiscal.

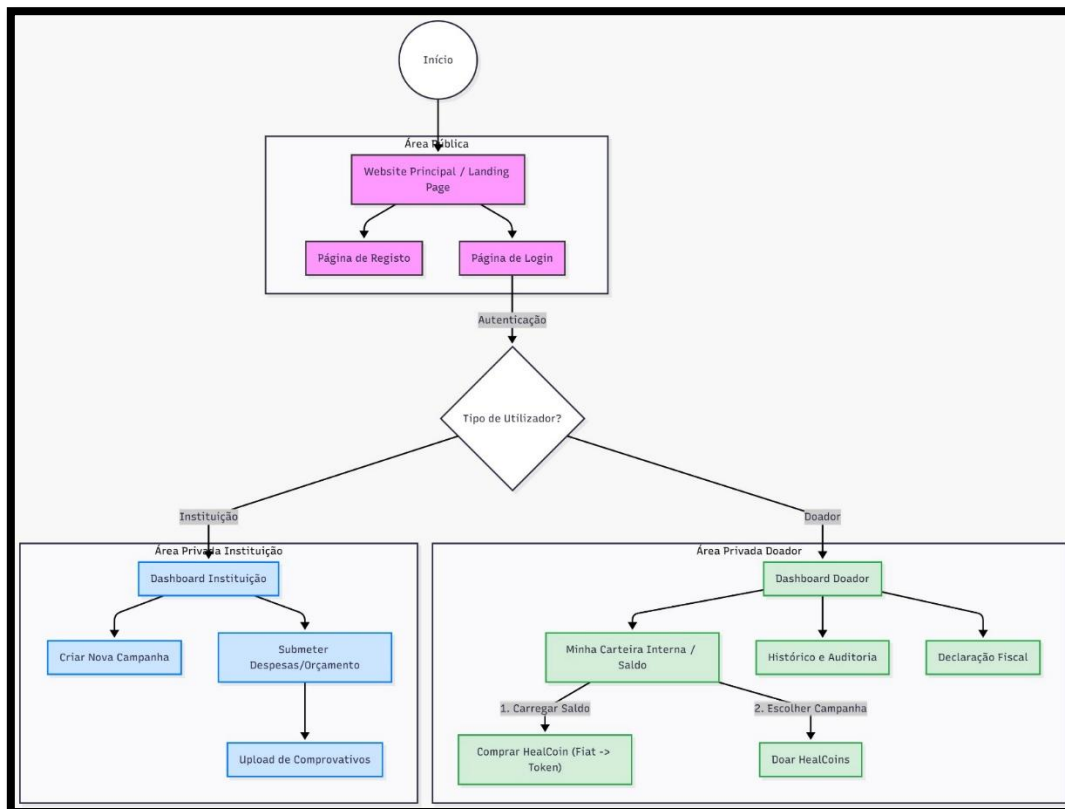


Figura 2 - Diagrama de fluxo de navegação e estrutura funcional da plataforma HEALCOIN

5.6 Mockups da Interface

Para o desenho e validação da interface de utilizador (UI), recorreu-se à ferramenta de prototipagem **Figma**. O desenvolvimento destes *mockups* teve como objetivo materializar os requisitos funcionais (RF) levantados, garantindo uma experiência de utilização intuitiva que abstrai a complexidade técnica da componente Web3 para o utilizador final.

O protótipo interativo encontra-se disponível para consulta através da seguinte ligação: <https://italic-beta-83329255.figma.site/>

As figuras apresentadas de seguida ilustram a jornada dos principais atores na plataforma:

A **Figura 3** ilustra o ponto de entrada da plataforma. Este ecrã foi desenhado para responder às necessidades imediatas do ator "Doador", focando-se na clareza da comunicação da causa social e na facilidade de acesso aos métodos de doação *fiat*, cumprindo o requisito de usabilidade.

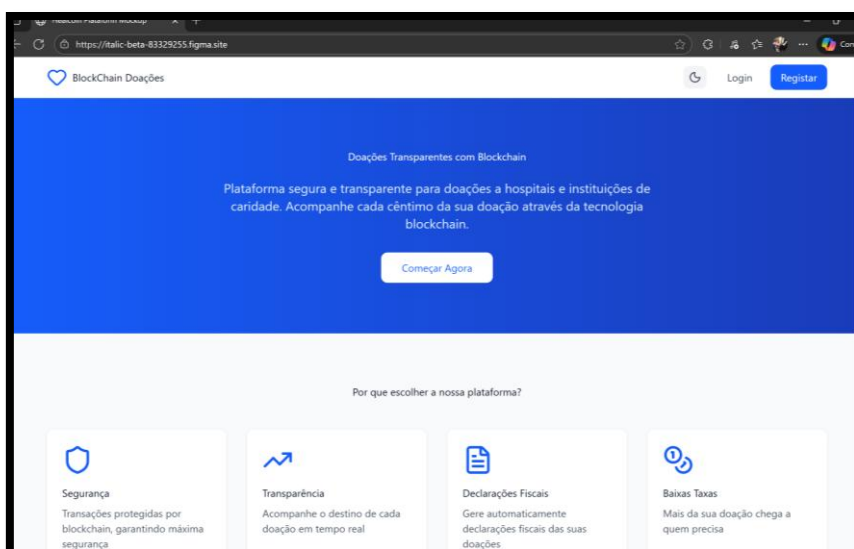


Figura 3 - Página Inicial (Landing Page) da plataforma HEALCOIN

A **Figura 4** demonstra a interface de autenticação. Em conformidade com o **RF01 (Gestão de Identidade)**, o sistema disponibiliza um acesso unificado para Doadores e Instituições através de credenciais familiares (e-mail/palavra-passe), gerindo a complexidade das chaves criptográficas em *backend*.

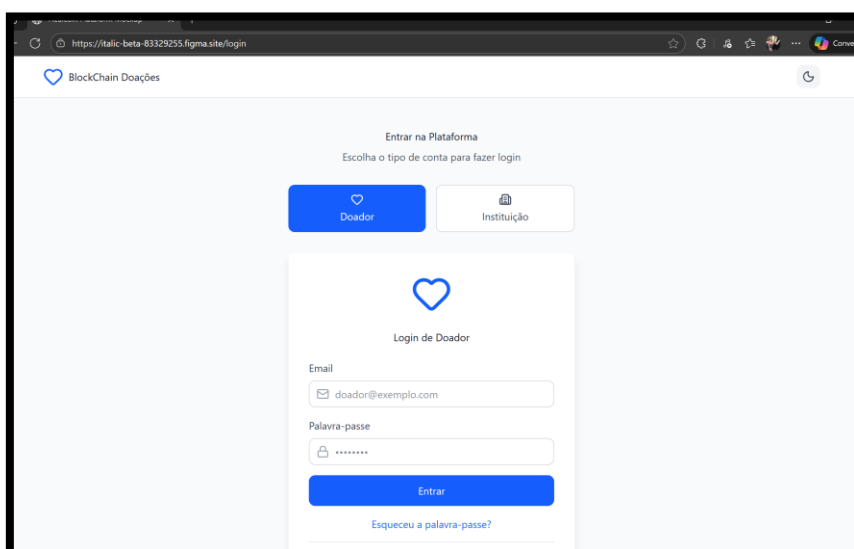


Figura 4 - Interface de Autenticação e Registo de utilizadores

A **Figura 5** apresenta o painel de controlo pessoal do Doador. Neste espaço, o utilizador pode consultar o histórico das suas contribuições, verificar o estado das transações na *blockchain* e aceder aos comprovativos para efeitos fiscais (**RF06**).

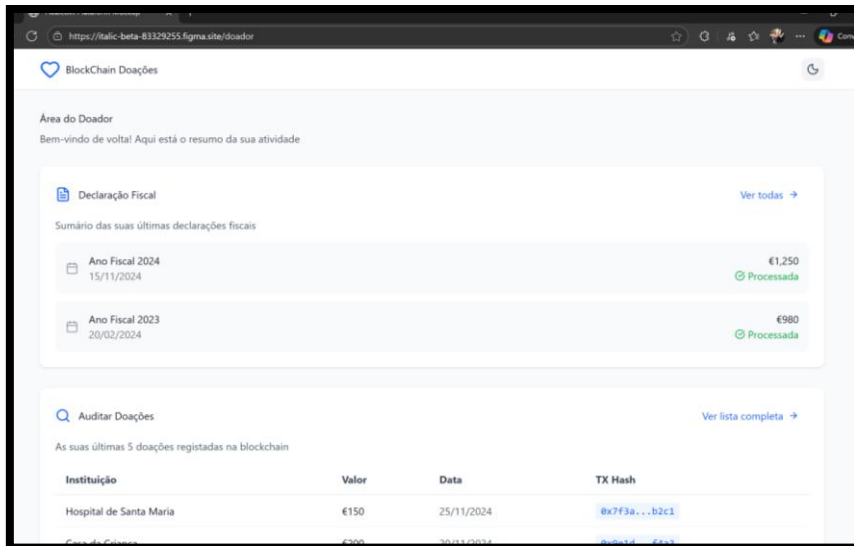


Figura 5 - Painel de Controle (Dashboard) da Área Privada do Doador

A **Figura 6** ilustra o *dashboard* de gestão destinado ao Parceiro Clínico. Esta interface permite à instituição validar a receção de fundos e registar evidências de atos médicos, funcionalidade essencial para o desbloqueio de tranches de financiamento e recompensas (RF05).

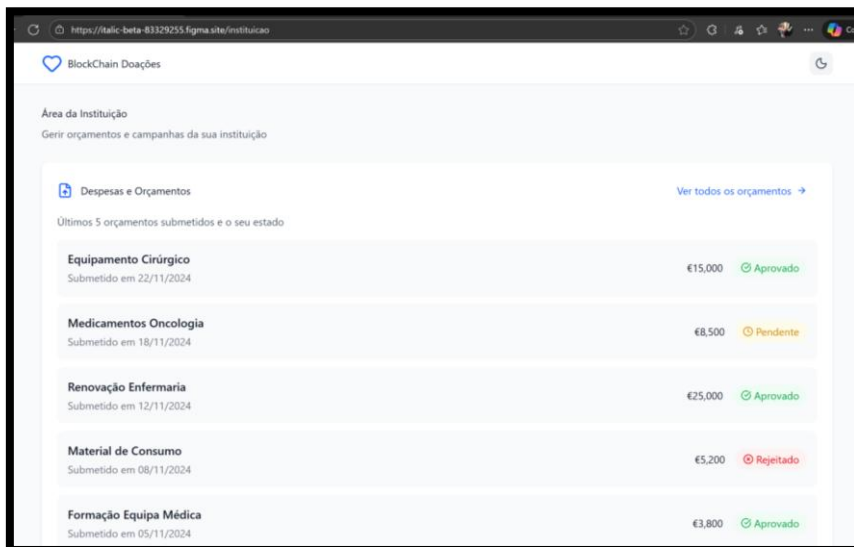


Figura 6 - Painel de Gestão da Área Privada da Instituição Parceira

5.7 Modelo de Dados Off-chain (Base de Dados)

Para suportar a lógica de negócio, a gestão documental e os requisitos fiscais (Modelo 25), foi implementada uma base de dados relacional PostgreSQL. A persistência é gerida via TypeORM, garantindo a integridade dos dados através de um schema tipificado e normalizado.

O modelo está dividido em quatro domínios principais:

1. **Núcleo de Identidade e Autenticação:** Centrado na tabela `auth_accounts`, que gere o acesso de forma segregada dos perfis operacionais (`donors` e `institutions`). Esta separação (`decoupled design`) permite que a lógica de autenticação evolua independentemente da lógica de negócio.
2. **Gestão de Campanhas e Auditoria Clínica:** As tabelas `campaigns`, `campaign_documents` e `campaign_reviews` formam o rasto de auditoria necessário para validar a libertação de fundos. A utilização de `campaign_onchain_audit` serve como ponte de verificação entre o estado da base de dados e os eventos registados na rede Polygon.
3. **Domínio Financeiro e Fiscal:** As tabelas `donations` e `fiscal_reports` garantem o cumprimento das obrigações legais. A tabela `wallets` mantém uma relação 1:1 com os atores do sistema, mapeando identidades legais a endereços criptográficos.
4. **Extensibilidade e Metadados:** O uso de campos `jsonb` em tabelas críticas permite o armazenamento de metadados flexíveis sem comprometer a performance de leitura, essencial para capturar detalhes específicos de diferentes intervenções clínicas.

Justificação das Opções de Design:

- **Identificadores Únicos (UUID):** A utilização da extensão `uuid-osp` para chaves primárias visa aumentar a segurança, dificultando a enumeração de recursos por agentes maliciosos e facilitando a sincronização de dados entre ambientes.
- **Referências Lógicas (Soft-links):** Algumas tabelas (como `deposits` e `auth_accounts`) utilizam referências lógicas em vez de Foreign Keys físicas. Esta decisão de arquitetura visa o desacoplamento de serviços, permitindo que o sistema de depósitos ou de autenticação possa, no futuro, ser migrado para microserviços independentes sem quebras de integridade referencial ao nível da base de dados core.
- **Conformidade com RGPD:** A base de dados off-chain é o único local onde residem dados Pessoais Identificáveis (PII). A relação com a *blockchain* é feita exclusivamente através de IDs anónimos e *hashes* de documentos, garantindo que o direito ao esquecimento pode ser exercido na base SQL sem comprometer a imutabilidade da rede.

5.7.1 Arquitetura Relacional

A base de dados foi desenhada para garantir o desacoplamento entre a identidade digital e a operação clínica. Dada a complexidade do sistema, a modelação é apresentada em duas perspetivas: o domínio central de negócio e o esquema técnico completo.

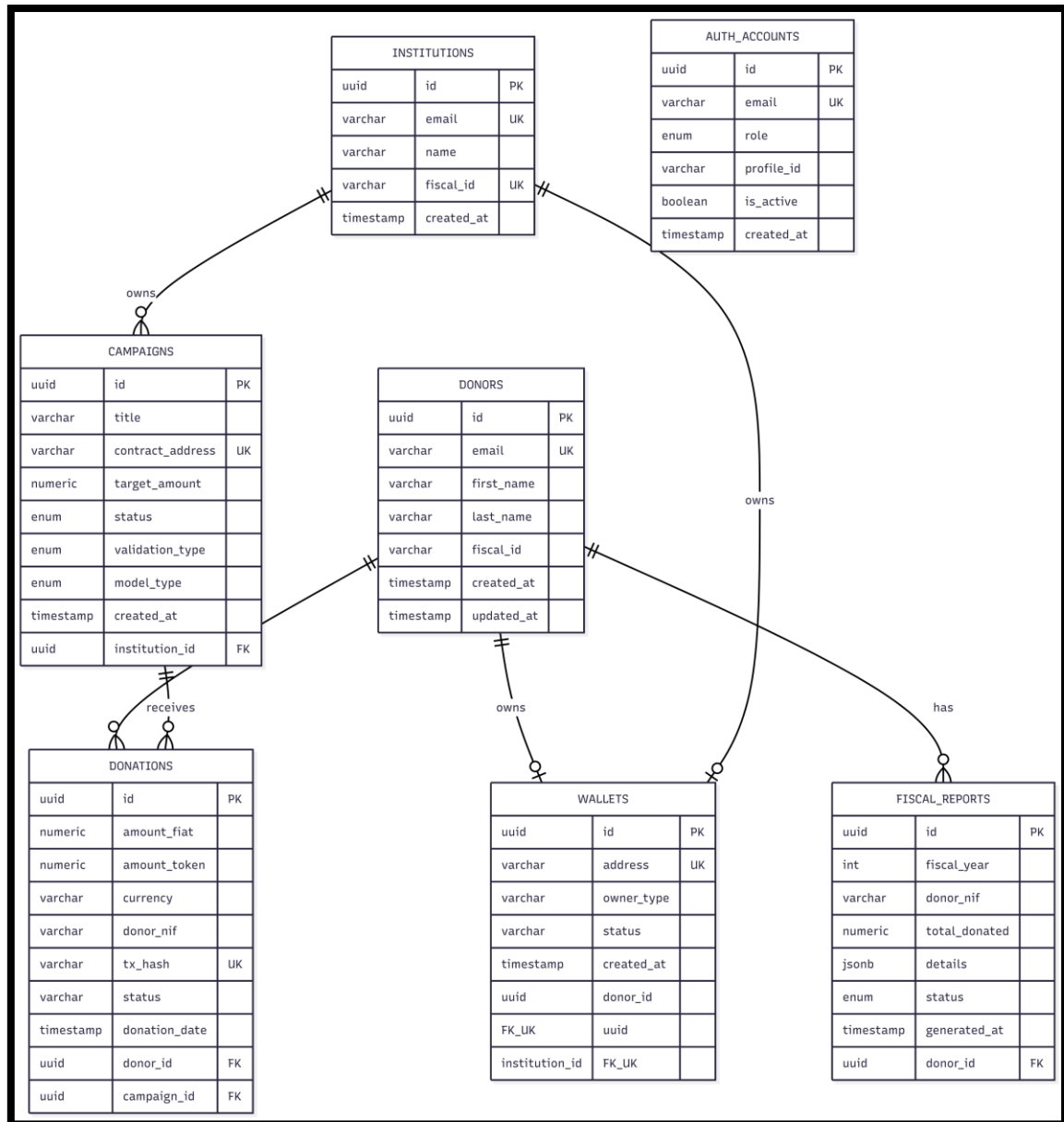


Figura 7 - Modelo ERD: Domínio Core

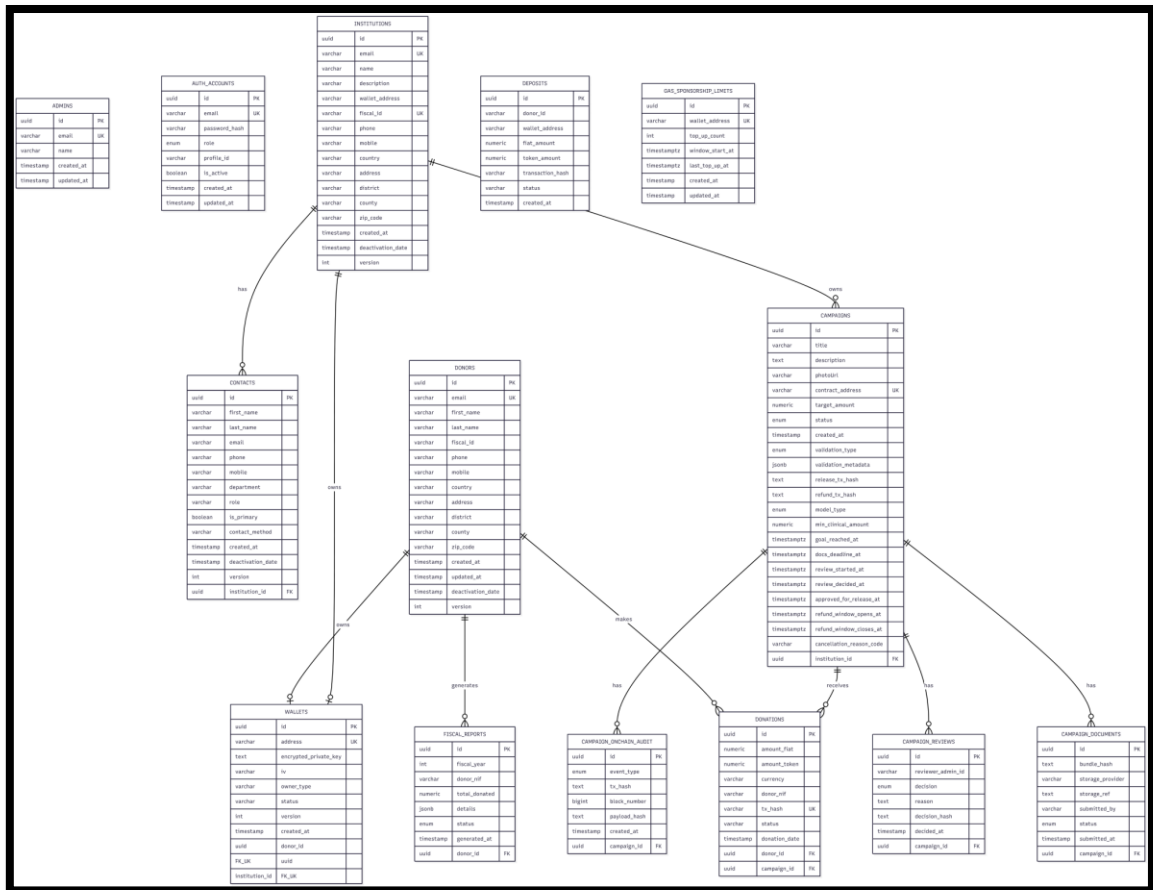


Figura 8 - Modelo ERD: Sistema Integral (Físico)

O esquema completo detalha a infraestrutura de suporte, incluindo a gestão de sessões, a custódia de documentos clínicos e o histórico de auditoria on-chain. O código-fonte Mermaid completo deste diagrama está disponível para consulta técnica no repositório do projeto.

5.8 Arquitetura de Smart Contracts (On-chain)

A arquitetura descentralizada do HEALCOIN garante imutabilidade financeira sem expor dados clínicos sensíveis (RGPD), assentando nos seguintes pilares desenvolvidos em Solidity:

5.8.1 Emissão do Ativo (Token HEAL)

O *token* HEAL implementa a norma ERC-20 com emissão dinâmica (*minting*). A criação de *tokens* é restrita ao *backend* administrativo através de permissões Role-Based Access Control (MINTER_ROLE), sendo acionada exclusivamente após a validação e compensação de depósitos fiduciários na plataforma.

5.8.2 Padrão Arquitetural (Factory Contract)

Para garantir segurança sistêmica, utiliza-se o padrão Factory. O contrato orquestrador (HealFactory) cria instâncias independentes (HealProject) para cada caso clínico. Este isolamento criptográfico assegura que eventuais vulnerabilidades num projeto não comprometem o saldo global da plataforma.

5.8.3 Custódia e Devoluções (O Cofre)

Cada contrato HealProject atua como cofre de garantia (*escrow*). Em caso de cancelamento ou falha da campanha, a plataforma previne vulnerabilidades como ataques de reentrada (*reentrancy*) e limites de rede (*gas limits*) utilizando o padrão Pull-based para devoluções: em vez de distribuir os fundos automaticamente, o contrato permite que cada doador invoque a função `claimRefund` para resgatar o seu próprio capital.

5.8.4 Gatilho de Libertação (Release)

A libertação de fundos (`releaseFunds`) segue, na atual fase de maturidade, uma governação custodial. Após a validação do relatório médico na base de dados, a carteira administrativa aciona a transferência on-chain para a entidade promotora (Hotsmile Lda), responsável pela liquidação final à clínica. Iterações futuras preveem a adoção de sistemas de múltiplas assinaturas (Multisig).

5.9 Fluxos Operacionais e Integração Web3

Para demonstrar a orquestração entre a componente off-chain (aplicação centralizada e base de dados relacional) e a componente on-chain (*Smart Contracts*), modelaram-se os dois processos críticos do sistema através de diagramas de sequência. Estes fluxos evidenciam o isolamento do utilizador final face à complexidade criptográfica, delegando as assinaturas de transações no *backend*.

5.9.1 Fluxo de Financiamento (Depósito Fiduciário e Alocação)

Este processo ilustra o ciclo de vida do capital. Na atual fase de desenvolvimento, o sistema utiliza um módulo de simulação fiduciária, abstendo-se da integração com *gateways* de pagamento reais (como SIBS ou Stripe), por forma a isolar a validação da lógica Web3.

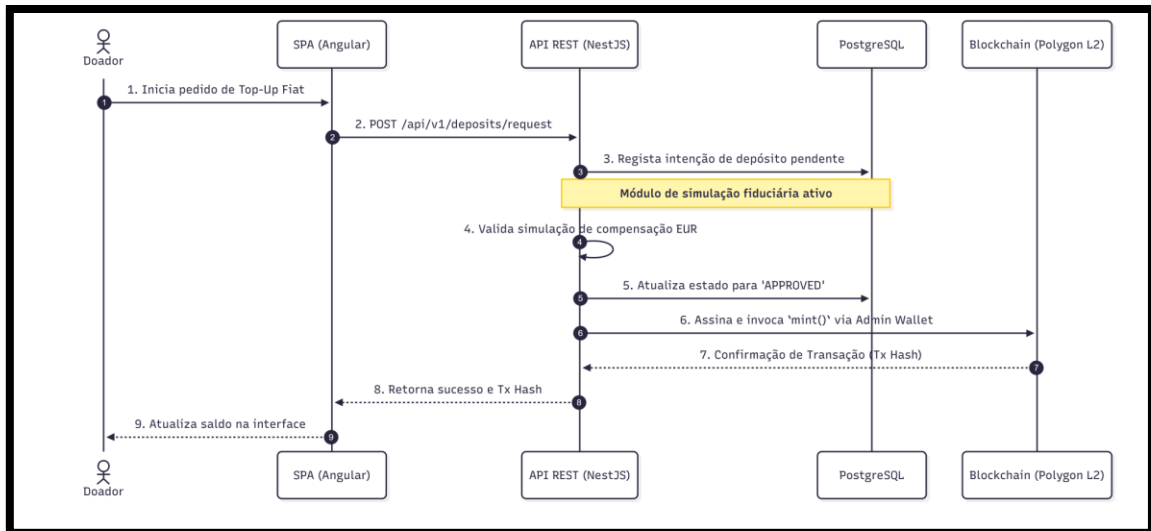


Figura 9 - Diagrama de Sequência: Fluxo de Doação (Simulação)

Como se observa na Figura, a Single Page Application (SPA) em Angular interage exclusivamente com a API REST em NestJS. O doador não necessita de *wallets* externas (ex: Metamask), sendo o *backend* responsável por atuar como intermediário seguro na emissão e alocação dos *tokens*.

5.9.2 Fluxo de Execução Clínica (Validação e Liberação)

Este processo ilustra o gatilho de segurança da plataforma: a liberação dos fundos condicionados (*escrow*) apenas ocorre mediante prova de execução médica e em estrita conformidade com o RGPD.

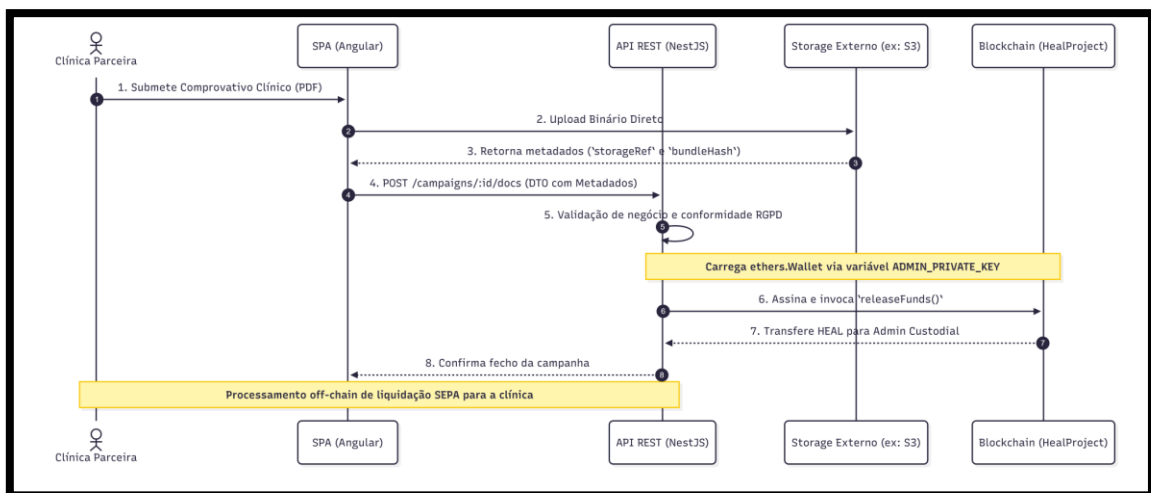


Figura 10 - Diagrama de Sequência: Fluxo de Liberação de Fundos

A Figura evidencia o modelo custodial e a segregação de dados. O ficheiro binário com informação de saúde nunca transita diretamente para a infraestrutura *blockchain*, sendo

armazenado num serviço externo. Apenas os metadados são remetidos ao NestJS. Após validação, o *backend* instancia a carteira administrativa (carregada via ambiente seguro) e assina a transação on-chain, movendo os fundos para liquidação fiduciária posterior.

5.9.3 Infraestrutura de Comunicação e Node Provider

Para garantir a interoperabilidade entre o servidor aplicativo (*backend* em NestJS) e a rede descentralizada, o sistema recorre ao Alchemy como node provider principal [Alch26], estabelecendo a comunicação através de uma ligação RPC (Remote Procedure Call).

A nível de implementação, a integração é orquestrada pela biblioteca ethers.js. O sistema instancia um provider dedicado através do endpoint fornecido pelo Alchemy (configurado na variável de ambiente `BLOCKCHAIN_RPC_URL`). Subsequentemente, a carteira administrativa (Admin Wallet) é instanciada e acoplada a este provider utilizando a `ADMIN_PRIVATE_KEY`. Esta arquitetura permite que o *backend* atue como o único agente capaz de assinar e submeter transações on-chain, mantendo as chaves criptográficas isoladas e seguras no servidor.

Na atual fase de desenvolvimento, o RPC encontra-se configurado para operar na testnet Polygon Amoy (Chain ID 80002), garantindo um ambiente de testes rigoroso e idêntico à mainnet, sem o risco financeiro associado ao consumo real de *gas fees*.

6 Calendário / Metodologia e Planeamento

Calendário e Roteiro de Trabalho

Este capítulo apresenta a visão global do planeamento do TFC, gerido através da metodologia ágil Kanban, abrangendo desde o início do projeto em outubro de 2025 até à entrega final em junho de 2026. O planeamento organiza-se em quatro fases sequenciais, estruturadas para mitigar falhas de integração:

- **Fase 1 - Descoberta e Definição (Out 2025 - Dez 2025):** Foco na formalização da parceria com a Hotsmile Lda [Dama25] e na definição da arquitetura técnica. As tarefas incluem o levantamento de requisitos operacionais, a criação de infraestrutura base (Wallet, domínio) e o desenho do modelo suportado em rede de Layer 2 (Polygon).
- **Fase 2 - Desenvolvimento Core (Jan 2026 - Fev 2026):** Implementação do núcleo da solução: *Smart Contracts* (Token ERC-20, Factory Contract) e infraestrutura de Backend (API, Base de Dados e gestão de chaves em modo custodial).
- **Fase 3 - Integração e Frontend (Mar 2026 - Abr 2026):** Desenvolvimento da interface Web e integração da lógica *blockchain* com a aplicação cliente.
- **Fase 4 - Validação e Entrega (Mai 2026 - Jun 2026):** Realização de testes de aceitação com o parceiro promotor, auditoria de segurança básica e compilação do relatório final.

Planeamento Visual (Diagrama de Gantt)

A execução destas fases e a sua sobreposição temporal encontram-se detalhadas visualmente no Diagrama de Gantt abaixo.

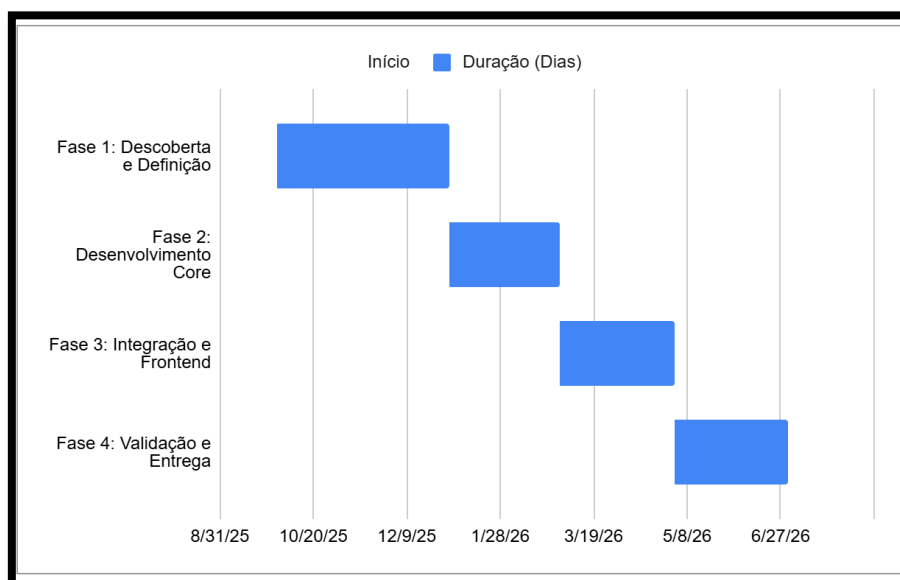


Figura 11 - Diagrama de Gantt com o planeamento temporal do projeto HEALCOIN

Gestão de Riscos e Estratégias de Mitigação

Para reforçar a exequibilidade do cronograma apresentado e garantir o cumprimento dos critérios de aceitação, foram identificados os seguintes riscos e respectivas medidas de mitigação:

- **Risco Tecnológico (Curva de aprendizagem Web3):** Atrasos na programação em Solidity. Mitigação: Adoção de uma arquitetura modular, permitindo testar os contratos localmente (Hardhat) antes da integração com o Backend.
- **Risco Financeiro (Flutuação de Gas Fees):** Custos de transação imprevisíveis que inviabilizem as micro-doações. Mitigação: Utilização exclusiva da rede Polygon, garantindo taxas residuais [Poly23].
- **Risco de Adoção (Barreira técnica do utilizador):** Resistência no uso da plataforma devido à complexidade da criptografia. Mitigação: Implementação de um modelo de carteira custodial, abstraindo o utilizador da gestão de chaves privadas [Bof21].

7 Testes e Validação

Para garantir a resiliência do ecossistema HEALCOIN, foi implementada uma estratégia de testes automatizados com o objetivo futuro de integração numa *pipeline* CI/CD. Na presente fase intercalar, a medição do Code Coverage fornece o diagnóstico do projeto.

7.1 Validação de Smart Contracts (On-chain)

A camada descentralizada (a mais crítica) foi testada com a framework Hardhat e o plugin solidity-coverage. A execução das test suites demonstrou resultados de excelência, atingindo 97.56% de cobertura de linhas e 100% nas funções. Os testes garantem o Controlo de Acesso (MINTER_ROLE) e a segurança financeira do padrão Pull-based contra ataques de reentrada. A cobertura de ramificações lógicas (branches), atualmente em 52.63%, será o foco de melhoria futura.

7.2 Testes Unitários de Backend (Off-chain)

No servidor API em NestJS, a qualidade é assegurada via Jest. A test suite (112 testes bem-sucedidos) reflete uma consolidação intermédia, com 51.83% de cobertura de linhas. Os testes focam-se na submissão de metadados clínicos e no serviço seguro de gestão da chave administrativa (ADMIN_PRIVATE_KEY). O objetivo final é estabilizar a cobertura acima dos 80%.

7.3 Testes de Interface e Usabilidade (Frontend)

Na camada de apresentação em Angular (Karma/Jasmine), a execução de *coverage* identificou uma quebra na suite de testes isolada devido a um erro num mock do componente de navegação. A deteção precoce desta falha em ambiente local valida a importância do processo. A prioridade para o próximo *sprint* é estabilizar esta *pipeline*, focando nos fluxos de simulação fiduciária e leitura de saldo para garantir a robustez antes do *deploy* final.

8 Conclusão

O projeto HEALCOIN representa uma interseção tangível entre a engenharia informática e o impacto social. O presente relatório validou a viabilidade técnica de uma arquitetura híbrida assente na rede Polygon (Layer 2), demonstrando ser possível superar as barreiras de custo e usabilidade que tradicionalmente limitam a cripto-filantropia.

Com os requisitos de engenharia definidos, a arquitetura desenhada e a parceria com a Hotsmile Lda. formalizada, o projeto reúne as condições necessárias para transitar com segurança da fase de conceção para a implementação do protótipo funcional. O desenvolvimento futuro, guiado pela metodologia ágil, permitirá entregar uma solução capaz de inovar o modelo de financiamento do tratamento do Pé Diabético em Portugal.

Bibliografia

- [Alch26] Alchemy. (2026). Alchemy Documentation: Web3 Developer Platform and Node API. Recuperado de <https://docs.alchemy.com/>
- [Ant18] Antonopoulos, A. M., & Wood, G. (2018). Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and DApps. O'Reilly Media.
- [Bof21] Boff, J., et al. (2021). User Experience in Blockchain Applications: A Comprehensive Review. Journal of Information Systems.
- [Dama25] Damas, C. (2025). Apresentação do Projeto HEALCOIN | Hotsmile Lda. - Proposta de Parceria Académica. Lisboa.
- [DGS24] Direção-Geral da Saúde (DGS). (2024). Relatório Anual do Programa Nacional para a Diabetes. Ministério da Saúde.
- [EBF24] Estatuto dos Benefícios Fiscais (2024). Decreto-Lei n.º 215/89 - Capítulo referente ao Mecenato Social. Diário da República.
- [EthF25] Ethereum Foundation (2025). Layer 2 Scaling. Disponível em: <https://ethereum.org/en/layer-2/>, acessado em Nov. 2025.
- [Ocd18] Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE). (2018). Blockchain Technology and Corporate Governance. Paris: OECD Publishing.
- [OMS23] Organização Mundial de Saúde (OMS). (2023). Diabetes and its Complications: Global Report.
- [OND23] Observatório Nacional da Diabetes (2023). Diabetes: Factos e Números – Relatório Anual. Sociedade Portuguesa de Diabetologia.
- [Poly23] Polygon Technology. (2023). Polygon PoS: Layer 2 Scaling Solution Architecture. Recuperado da documentação oficial da Polygon.
- [Poly25] Polygon Labs (2025). Polygon PoS Architecture and Solution. Disponível em: www.polygon.technology, acessado em Nov. 2025.
- [UE16] Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. (2016). Regulamento (UE) 2016/679 - Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (RGPD). Jornal Oficial da União Europeia.

Glossário

Alchemy Plataforma de desenvolvimento Web3 e fornecedor de infraestrutura (Node Provider) que disponibiliza endpoints de acesso a diversas *blockchains*, facilitando a comunicação entre aplicações convencionais e redes descentralizadas.

AT (Autoridade Tributária) Entidade responsável pela administração dos impostos em Portugal, à qual é comunicada a Declaração Modelo 25.

Blockchain Tecnologia de registo distribuído (DLT) que armazena transações num conjunto de blocos de dados ligados entre si de forma criptográfica, garantindo imutabilidade, transparência e descentralização.

CI/CD (Integração e Entrega Contínuas) Prática de engenharia de software que automatiza a integração de código e os testes, garantindo qualidade contínua.

Custodial (Custódia) Modelo de gestão de carteiras digitais onde uma entidade terceira (neste caso, a plataforma) detém as chaves privadas e gere os ativos em nome do utilizador, removendo a complexidade técnica para o doador.

DAO (Organização Autónoma Descentralizada) Uma entidade gerida através de regras codificadas em *Smart Contracts*, onde as decisões são tomadas pelos detentores de *tokens* de governação, em vez de uma autoridade central.

ERC-20 O standard técnico utilizado na rede Ethereum e redes compatíveis para a criação e implementação de *tokens* fungíveis. Define um conjunto de regras comuns que permitem a interoperabilidade entre carteiras e contratos.

EVM (Ethereum Virtual Machine) O ambiente de execução computacional que processa os *Smart Contracts* na rede Ethereum. Redes "EVM compatible" (como a Polygon) replicam este ambiente, permitindo executar o mesmo código.

Factory Contract (Contrato de Fábrica) Um padrão de arquitetura (*design pattern*) em *Smart Contracts* onde um contrato principal tem a função de criar e implementar automaticamente novas instâncias de outros contratos (usado para criar novos projetos/campanhas no HEALCOIN).

Gas Fee (Taxa de Gás) A taxa paga na moeda nativa da rede (ex: POL/MATIC) para compensar o esforço computacional necessário para processar e validar uma transação na *blockchain*.

IPSS (Instituição Particular de Solidariedade Social) Entidades sem fins lucrativos que atuam na área da saúde ou apoio social (referenciado na arquitetura do Frontend).

Kanban Metodologia ágil de gestão visual de trabalho que visa gerir o fluxo de tarefas (ex: "A Fazer", "Em Curso", "Concluído") para maximizar a eficiência e a entrega contínua.

Layer 1 (L1) / Camada 1 A *blockchain* principal ou fundacional que garante a segurança e o consenso de base (ex: Ethereum, Bitcoin).

Layer 2 (L2) / Camada 2 Uma rede ou protocolo secundário construído "sobre" uma L1 para processar transações fora da cadeia principal, aumentando a velocidade e reduzindo drasticamente os custos (taxas de gás), enquanto herda a segurança da L1.

LEI Licenciatura em Engenharia Informática

Mainnet (Rede Principal) A rede *blockchain* principal e de produção, onde as transações são validadas de forma definitiva e envolvem ativos digitais com valor financeiro real e custos de gas efetivos.

Node Provider (Fornecedor de Nós) Entidade ou serviço (como o Alchemy) que aloja e mantém servidores ligados à *blockchain*, permitindo que os programadores interajam com a rede sem a necessidade e o custo de configurar um nó próprio.

Off-chain Processos ou dados que são armazenados ou executados fora da rede *blockchain*, como bases de dados tradicionais, essencial para garantir o cumprimento do RGPD.

On-chain Transações ou dados que são registados diretamente e de forma imutável na *blockchain*.

RGPD (Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados): Legislação europeia que rege a privacidade e proteção de dados pessoais.

RPC (Remote Procedure Call) Protocolo de comunicação que permite a um programa solicitar a execução de um serviço noutro computador numa rede. No contexto Web3, é a ponte que permite ao *backend* ler e escrever dados na *blockchain*.

Smart Contract (Contrato Inteligente) Um programa de computador autoexecutável armazenado na *blockchain* que executa automaticamente os termos de um acordo quando condições pré-definidas são cumpridas.

SNS (Serviço Nacional de Saúde) Estrutura através da qual o Estado Português assegura o direito à saúde a todos os cidadãos.

Solidity A linguagem de programação orientada a objetos de alto nível utilizada para implementar *Smart Contracts* em redes compatíveis com a EVM.

SPA (Single Page Application) Aplicação web ou site que interage com o utilizador reescrevendo dinamicamente a página atual em vez de carregar páginas inteiras novas (utilizado no Frontend em Angular).

Testnet (Rede de Testes) Um ambiente *blockchain* de simulação que replica as regras da mainnet, utilizado para testes e auditorias de *Smart Contracts* utilizando *tokens* sem valor comercial (ex: Polygon Amoy).

TFC Trabalho Final de Curso

Tokenomics A estrutura económica de um *token*, definindo as suas regras de emissão, distribuição, utilidade e os incentivos para os participantes do ecossistema.

ULS Unidade Local de Saúde.

Web2 Geração atual da internet, baseada em aplicações centralizadas (ex: redes sociais, bancos).

Web3 A designação para a próxima geração da internet, focada na descentralização, propriedade digital do utilizador e interação com *blockchains* e *Smart Contracts*.

Formulário de declaração de uso de ferramentas de Inteligência Artificial a anexar a relatório

Todos os relatórios deverão incluir anexo com cópia, devidamente preenchida, do formulário abaixo.

Assinalar as opções aplicáveis e completar os campos solicitados.

1. Utilização de IA

Não foram utilizadas ferramentas de IA na realização deste trabalho.

Foram utilizadas ferramentas de IA na realização deste trabalho.

2. Ferramentas utilizadas

Assinalar todas as que se aplicam.

Assistência geral à escrita, análise ou ideação

ChatGPT

Microsoft Copilot

Gemini

Claude

Perplexity

Outras. Quais? _____

Assistência à programação / desenvolvimento

GitHub Copilot

Claude

OpenAI Codex

Cursor

Tabnine

Amazon CodeWhisperer / Amazon Q

Outras. Quais? _____

Geração de imagem / design / multimídia

DALL·E

Midjourney

Stable Diffusion

Canva AI / Magic Design

Outras. Quais? _____

Outros usos

Contexto: Ferramentas? _____

3. Fases do trabalho em que foi utilizada IA

- Planeamento do trabalho
- Pesquisa exploratória / levantamento inicial de informação
- Documentação técnica
- Redação do relatório
- Desenho / modelação / arquitetura
- Design / prototipagem / interface
- Geração de código
- Revisão / refatoração / debugging de código
- Criação de testes / casos de teste
- Análise de resultados
- Preparação de apresentação ou materiais auxiliares
- Outros. Quais? _____

4. Tipo de utilização

Descrever sucintamente como a IA foi utilizada.

Exemplos: brainstorming, estruturação de secções, revisão linguística, sugestão de arquitetura, geração de exemplos, explicação de conceitos, geração parcial de código, correção de erros, criação de casos de teste, apoio ao design.

A IA foi utilizada estritamente como um assistente de produtividade e revisão. No âmbito do relatório foi usada para revisão linguística e assistência nos diagramas. Um código auxiliou na geração de código repetitivo (debugging).

5. Partes do trabalho afetadas

Indicar as secções, componentes, módulos, ficheiros, entregáveis ou atividades que foram influenciados pelo uso de IA.

Relatório Técnico: Revisão gramatical e de estilo ao longo dos documentos; conteúdo dos modelos de dados para a interface gráfica dos Mermaids
Código Fonte: Geração de controllers e Services (NATS) e Computos na Argentina.

6. Exemplos de *prompt*

Inserir exemplos de *prompt*, diferenciando por âmbito (enquadrado na questão 2) e fase (enquadrado na questão 4)

Revisão do Relatório: "Releia este parágrafo sobre a ocupação Zeiper 2 e torne a linguagem mais concisa e acadêmica, eliminando redundâncias, mas mantendo estritamente o sentido original.

Geração de códigos: Cria a classe DTO em NestJS para o endpoint de submissão de comprovativos médicos.

7. Validação, revisão e intervenção dos autores

Descrever que verificação, revisão, correção, adaptação ou reescrita foi realizada pelos autores.

Nota: se a IA tiver sido usada em código, testes, scripts, modelos, consultas, configurações ou outros artefactos técnicos, deve ser indicado de que forma os autores validaram o funcionamento e confirmaram a sua compreensão.

Nenhuma sugestão gerada por IA foi aceite sem esboços. No relatório as sugestões foram criticamente analisadas, reescritas e adaptadas. No desenvolvimento técnico, as estruturas foram analisadas cuidadosamente.

8. Grau de utilização

- Residual
- Moderado
- Extensivo

Utilização homogénea

Grau de uso diferenciado por fase ou componente de trabalho

Descrever sucintamente os diferentes usos.

A utilização foi mais presente nas fases de formulação, revisão de texto final e na geração inicial dos esqueletos de códigos. Na definição de arquitetura, modelação de base de dados etc. foi feita com residual

9. Trabalhos em parceria

Proteção de dados confidenciais e recursos proprietários de parceiros

O trabalho foi realizado em parceria com entidade externa ao DEISI

No caso da resposta anterior ser verdadeira, responder às seguintes questões:

O parceiro tem regras para restringir submissão de dados

As submissões validam aplicação de regras de tratamento de dados

Foram implementados mecanismos para restringir a partilha de recursos proprietários

10. Declaração de responsabilidade

Ao assinarem a presente declaração, os autores declaram que:

- a informação acima é verdadeira e reflete o uso efetivo de ferramentas de IA na realização do trabalho;
 - compreendem que a IA não substitui autoria nem responsabilidade académica;
 - verificaram a validaram e veracidade das referências bibliográficas incluídas no relatório
 - assumem integralmente a responsabilidade técnica, científica, ética e académica por todo o conteúdo submetido, incluindo texto, código, modelos, testes, imagens, diagramas e restantes artefactos entregues.
-

11. Identificação dos autores

Nome(s): Bernardo Zentú

Número(s): a22301183

Data: 12/04/2026

Assinatura(s): Bernardo Zentú

Nome(s): Nelson Almeida

Número(s): a22304590

Data: 12/04/2026

Assinatura(s): Nelson Almeida