

Requisitos e Arquitetura do Protótipo ElectroCap

A evolução das soluções de telemedicina tem vindo a assumir um papel cada vez mais relevante na prestação de cuidados de saúde, em particular no acompanhamento de populações com maior dificuldade de deslocação, como é o caso da população idosa. No entanto, apesar das vantagens associadas às teleconsultas, estas continuam frequentemente limitadas à comunicação áudio e vídeo, não permitindo ao profissional de saúde aceder a sinais biomédicos recolhidos em tempo real durante a consulta.

Com o objetivo de colmatar esta limitação, o projeto ElectroCap visa o desenvolvimento de um protótipo de telemonitorização biomédica, capaz de integrar aquisição sensorial, processamento local, comunicação remota e visualização clínica. Este documento tem como finalidade apresentar a definição do problema, os requisitos de engenharia do sistema, a arquitetura proposta, a decomposição em subsistemas e a fundamentação da sua complexidade técnica.

1. Resumo Executivo

O nosso projeto propõe uma plataforma de telemonitorização geriátrica que reforça a teleconsulta através da aquisição biomédica em tempo real. Embora a teleconsulta reduza deslocações e facilite o acesso aos cuidados de saúde, continua a apresentar limitações clínicas quando o médico não consegue observar sinais fisiológicos objetivos durante a consulta. Esta limitação é particularmente relevante na população idosa, que apresenta maior prevalência de doença crónica, menor mobilidade e maior dependência de terceiros para comparecer presencialmente em consultas não urgentes. Para além disso, em períodos de chuva, frio ou condições meteorológicas adversas, muitos idosos acabam por faltar às consultas ou chegar atrasados, comprometendo a continuidade do acompanhamento clínico e dificultando uma avaliação médica atempada.

A solução proposta consiste num sistema integrado formado por um módulo wearable de aquisição biomédica, uma unidade local de processamento e comunicação, uma infraestrutura cloud para receção e armazenamento dos dados e uma interface clínica para visualização da informação durante a teleconsulta. Numa primeira versão do protótipo, o sistema deverá adquirir frequência cardíaca, frequência respiratória e sons cardiorrespiratórios, transmitindo-os com baixa latência para apoio à decisão clínica.

O principal desafio de engenharia reside na integração fiável de todo o fluxo sensor-dispositivo-cloud-interface em contexto não clínico, garantindo qualidade de sinal, sincronização entre canais, segurança dos dados, autonomia energética e simplicidade de utilização por parte de utilizadores idosos.

2. Definição do Problema e Perspetivas do Utilizador

O beneficiário primário é o idoso com necessidade de acompanhamento clínico regular, sobretudo em consultas não urgentes e de seguimento. Beneficiários secundários incluem médicos, familiares/cuidadores e entidades locais que possam servir de ponto de acesso à teleconsulta.

A necessidade crítica identificada é a realização de teleconsultas mais informativas, sem obrigar o utente a deslocações longas e desgastantes. As soluções atuais falham por duas razões principais, ou oferecem apenas videoconferência, sem sinais fisiológicos objetivos, ou exigem múltiplos dispositivos externos, complexos e pouco adequados a utilizadores com baixa literacia tecnológica.

A abordagem técnica do nosso projeto permite resolver esta lacuna através de um fluxo integrado. O utente utiliza um único sistema com sensores biomédicos e interface simplificada, os sinais são adquiridos de forma repetível, pré-processados localmente e enviados para uma plataforma remota, o médico recebe dados estruturados e quase em tempo real durante a teleconsulta. Deste modo, a consulta deixa de depender apenas de observação visual e passa a incluir indicadores fisiológicos com valor clínico.

Do ponto de vista do utilizador, os critérios decisivos são conforto, facilidade de colocação, tempo reduzido de preparação, confiança no funcionamento e mínima necessidade de intervenção manual. Do ponto de vista clínico, os critérios mais importantes são consistência das medições, baixa latência, visualização clara e histórico acessível das medições anteriores.

3. Requisitos de Engenharia (O “Quê”)

Descrição

Os requisitos de engenharia do protótipo ElectroCap têm como objetivo definir, de forma concreta e mensurável, as funcionalidades e limitações técnicas do sistema a desenvolver. Estes requisitos descrevem o comportamento esperado do dispositivo wearable, bem como os critérios de desempenho necessários para garantir a sua utilização em contexto de teleconsulta geriátrica.

O protótipo consiste num sistema integrado de monitorização biomédica capaz de adquirir sinais fisiológicos, processá-los localmente e transmiti-los em tempo quase real para uma plataforma remota. Assim, os requisitos estabelecidos orientam diretamente o desenvolvimento do dispositivo, permitindo verificar se o protótipo cumpre os objetivos definidos ao nível da aquisição de sinal, fiabilidade, usabilidade e desempenho global.

Requisitos Funcionais	
Requisito	Descrição
Aquisição de sinais biomédicos	O sistema deve adquirir sinais biomédicos diretamente do utilizador através de sensores integrados num dispositivo wearable.
Medição da frequência cardíaca	Deve medir a frequência cardíaca com precisão aproximada de ± 2 bpm, usando elétrodos e front-end analógico dedicado.
Estabilidade do ECG	A medição deve ser estável e fiável para monitorização fisiológica básica em ambiente não clínico.
Medição da frequência respiratória	Deve permitir medir a frequência respiratória através de bioimpedância torácica.
Monitorização respiratória	Deve possibilitar análise do padrão respiratório em contexto de teleconsulta.
Aquisição de sons cardiorrespiratórios	Deve captar sons cardíacos e pulmonares através de microfone MEMS.
Auscultação remota	Deve permitir transmissão dos sons para avaliação por profissional de saúde.
Armazenamento de áudio	Deve permitir armazenamento local opcional dos sinais acústicos.
Transmissão de dados	Deve transmitir dados biomédicos para smartphone/computador via comunicação sem fios.
Monitorização em tempo real	Deve disponibilizar os dados em tempo real numa interface externa.
Interação com utilizador	Deve incluir indicadores visuais de funcionamento.

Controlo de sessões	Deve permitir iniciar e terminar sessões de forma simples e intuitiva.
---------------------	--

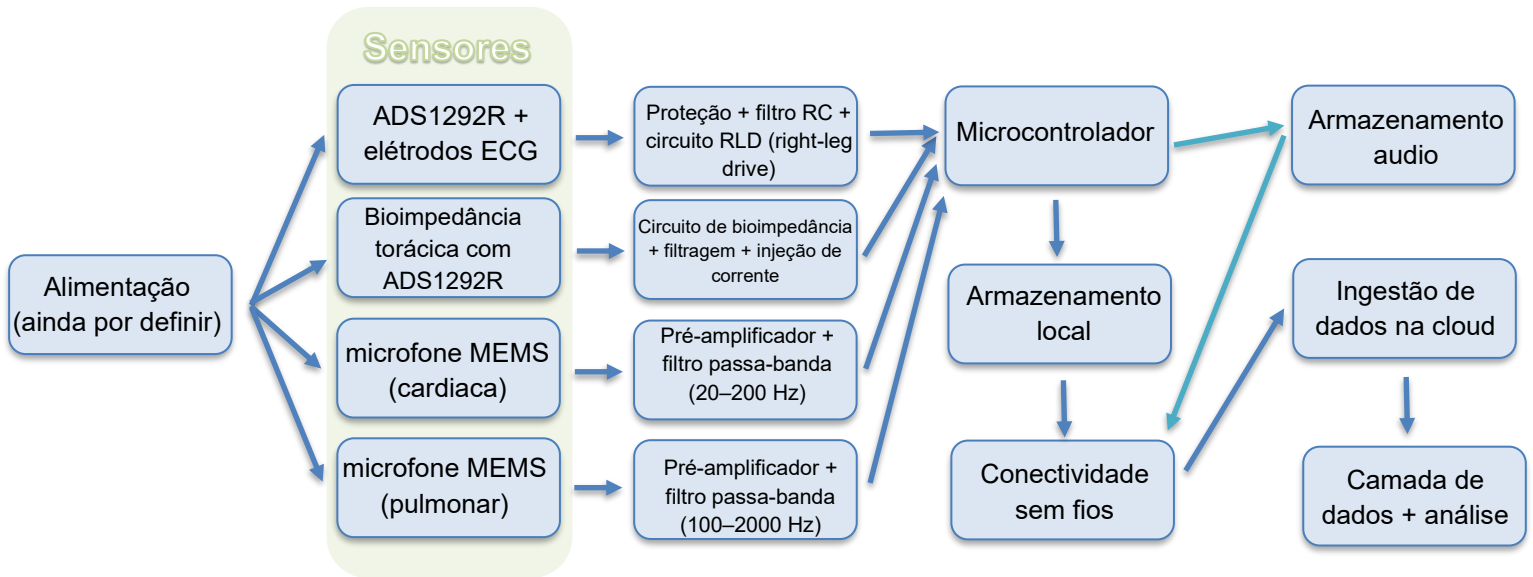
Requisitos Não Funcionais	
Requisito	Descrição
Consumo energético	Consumo inferior a aproximadamente 500 mW em modo ativo.
Autonomia	Deve suportar pelo menos 4 horas de operação contínua.
Latência	Transmissão de dados com latência inferior a 1 segundo.
Ergonomia	Dispositivo leve (<300 g) e confortável para uso prolongado.
Posicionamento dos sensores	Deve garantir bom contacto com o corpo e estabilidade das medições.
Facilidade de uso	Deve ser utilizável por utilizador ou cuidador sem conhecimento técnico.
Custo	Componentes devem ter custo reduzido para futura escalabilidade.

4. Arquitetura Geral do Sistema (O “Como”)

O protótipo ElectroCap segue uma arquitetura modular e distribuída, concebida para suportar a aquisição, processamento, transmissão e visualização remota de sinais biomédicos em contexto de teleconsulta geriátrica. O sistema foi estruturado em blocos funcionais interligados, de forma a transformar sinais fisiológicos recolhidos localmente no utilizador em informação clinicamente útil para o profissional de saúde.

4.1 Diagrama de blocos do sistema

A arquitetura global do sistema encontra-se representada no diagrama de blocos seguinte, onde se identificam os principais módulos funcionais e o percurso da informação desde a aquisição biomédica até à sua disponibilização na interface clínica.



4.2 Descrição dos blocos principais

A arquitetura proposta encontra-se organizada em cinco blocos principais, complementados por um bloco transversal de alimentação e gestão de energia.

Camada de aquisição biomédica

Corresponde ao dispositivo wearable utilizado pelo utente e integra os sensores responsáveis pela recolha dos sinais fisiológicos relevantes. Numa primeira versão do protótipo, esta camada deverá suportar a aquisição de frequência cardíaca, frequência respiratória e sons cardiorrespiratórios.

Unidade de processamento local

Este bloco é responsável pela aquisição digital dos sinais, pela sincronização entre canais, pelo pré-processamento local e pela preparação dos dados para transmissão. A sua implementação poderá recorrer a um microcontrolador ou a outro sistema embebido adequado aos requisitos de desempenho e consumo energético do protótipo.

Camada de comunicação sem fios

Responsável pelo envio dos dados biomédicos para uma infraestrutura remota, assegurando baixa latência, continuidade da ligação e integridade da informação transmitida.

Plataforma cloud

Responsável pela receção, armazenamento e organização dos dados fisiológicos, bem como pela

sua disponibilização à interface clínica. Esta camada pode ainda suportar funções de processamento adicional e histórico de medições.

Interface clínica

Interface utilizada pelo profissional de saúde durante a teleconsulta, permitindo a visualização em tempo quase real dos sinais fisiológicos e o acesso ao histórico recente das medições do utente.

Bloco de alimentação e gestão de energia

Bloco transversal responsável por alimentar os sensores, a unidade de processamento e o módulo de comunicação. A sua conceção deverá garantir autonomia suficiente para suportar uma sessão típica de teleconsulta, mantendo simultaneamente reduzido o consumo energético global do sistema.

4.3 Fluxo de dados

O fluxo de dados inicia-se na camada de aquisição biomédica, onde os sensores recolhem os sinais fisiológicos do utilizador. Esses sinais são encaminhados para a unidade de processamento local, onde são digitalizados, sincronizados e pré-processados. Em seguida, os dados são enviados através da camada de comunicação sem fios para a plataforma cloud, onde podem ser armazenados, organizados e disponibilizados à interface clínica. Desta forma, o profissional de saúde pode acompanhar os parâmetros fisiológicos do utente durante a teleconsulta, em complemento à comunicação áudio e vídeo convencional.

4.4 Síntese da arquitetura proposta

A arquitetura definida permite separar de forma clara as funções de aquisição biomédica, processamento local, comunicação e visualização remota, facilitando o desenvolvimento modular do sistema e a futura expansão do protótipo. Esta organização responde diretamente ao objetivo do projeto, ao permitir integrar monitorização fisiológica e teleconsulta num único fluxo tecnológico coerente.

5. Decomposição em Subsistemas

O sistema pode ser dividido em três subsistemas principais: **hardware**, **firmware/software** e **integração mecânica**.

5.1 Subsistema de Hardware

Este subsistema é responsável pela aquisição física dos sinais biomédicos e pela infraestrutura eletrónica necessária ao funcionamento do sistema.

O porquê destes componentes:

Blocos de sensores	Aspetos positivos	Aspetos negativos
ADS1292R + eléctodos ECG	<ul style="list-style-type: none"> • Aquisição precisa de ECG • Elevada integração analógica + ADC • Baixo consumo • Boa rejeição de ruído de modo comum 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensível à colocação dos eléctodos • Movimento gera artefactos • Layout PCB exige cuidado • Custo superior a soluções simples
Bioimpedância torácica com ADS1292R	<ul style="list-style-type: none"> • Permite monitorizar respiração • Método não invasivo • Pode aproveitar integração com ECG • Fornece informação complementar 	<ul style="list-style-type: none"> • Muito sensível ao movimento • Requer calibração cuidadosa • Pode sofrer interferências • Implementação mais complexa
microfone MEMS (cardíaca)	<ul style="list-style-type: none"> • Capta sons cardíacos • Pequeno e leve • Baixo custo • Acrescenta informação além do ECG 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensível a ruído ambiente • Posicionamento crítico • Requer pré-processamento • Sinal pode ser fraco
microfone MEMS (pulmonar)	<ul style="list-style-type: none"> • Capta sons respiratórios • Pequeno e fácil de integrar • Complementa outros sensores • Pode ajudar na análise pulmonar 	<ul style="list-style-type: none"> • Muito sensível a ruído externo • Depende muito da posição no corpo • Grande variabilidade entre utilizadores • Processamento do sinal é exigente
Proteção + filtro RC + circuito RLD	<ul style="list-style-type: none"> • Melhora segurança do utilizador • Reduz ruído e interferências • Melhora qualidade do ECG • Protege os circuitos de entrada 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta complexidade analógica • Mau dimensionamento pode distorcer sinais • Exige ajuste e validação • Ocupa mais espaço no circuito
Circuito de bioimpedância + filtragem + injeção de corrente	<ul style="list-style-type: none"> • Permite medição de impedância torácica • Sensível a variações respiratórias • Acrescenta nova modalidade fisiológica • Pode melhorar robustez multimodal 	<ul style="list-style-type: none"> • Segurança eléctrica crítica • Projeto analógico difícil • Pode interferir com outros canais • Requer controlo rigoroso da corrente
Pré-amplificador + filtro passa-banda	<ul style="list-style-type: none"> • Melhora relação sinal/ruído • Realça a banda de interesse • Facilita aquisição pelo ADC • Reduz componentes fora da banda útil 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode cortar informação relevante • Introduce complexidade adicional • Requer ajuste fino da banda • Pode adicionar ruído se mal projetado

Componentes principais

Sensores biomédicos

O subsistema de hardware é responsável pela aquisição física dos sinais biomédicos e pela infraestrutura eletrónica necessária ao funcionamento do protótipo. Este subsistema integra os sensores biomédicos, os blocos de condicionamento analógico, o microcontrolador e o módulo de comunicação sem fios, constituindo a base física do sistema de monitorização.

No que diz respeito à monitorização cardíaca, prevê-se a utilização de elétrodos em contacto com o corpo, associados a um front-end analógico dedicado, capaz de garantir aquisição de sinal com resolução adequada e boa rejeição ao ruído. Para a monitorização respiratória, propõe-se a utilização de bioimpedância torácica, baseada na medição das variações de impedância elétrica do tórax ao longo do ciclo respiratório. Esta abordagem permite obter informação respiratória de forma contínua e compatível com uma solução wearable.

Para a aquisição de sons cardiorrespiratórios, considera-se a utilização de microfones MEMS, devido à sua reduzida dimensão, baixo consumo e facilidade de integração em sistemas embebidos portáteis. No entanto, este tipo de sinal exige a inclusão de circuitos de pré-amplificação e filtragem analógica, de forma a melhorar a relação sinal/ruído antes da etapa de digitalização e processamento do protótipo.

O microcontrolador constitui o elemento central deste subsistema, sendo responsável pela conversão analógico-digital dos sinais adquiridos, pela execução de tarefas de processamento inicial, pela sincronização entre canais biomédicos e pela gestão global do funcionamento do dispositivo. Para além disso, caber-lhe-á também coordenar a comunicação com os módulos externos e garantir a correta articulação entre os diferentes blocos eletrónicos do protótipo, de forma contínua e compatível com uma solução wearable.

A comunicação com dispositivos externos ou com um gateway poderá recorrer a tecnologias sem fios como Bluetooth Low Energy ou Wi-Fi, em função dos requisitos de latência, largura de banda e integração definidos para o protótipo. Desta forma, o subsistema de hardware assegura não só a aquisição local dos sinais fisiológicos, mas também a sua preparação e encaminhamento para as camadas superiores do sistema.

5.2 Subsistema de Firmware / Software

O subsistema de firmware/software é responsável pela implementação da lógica de funcionamento do protótipo e pelo processamento dos dados biomédicos adquiridos. Este subsistema pode ser dividido em três componentes principais, o firmware executado localmente no dispositivo, o software associado à infraestrutura remota e a interface clínica utilizada pelo profissional de saúde.

Ao nível do dispositivo, o firmware será responsável pela aquisição dos sinais provenientes dos diferentes sensores biomédicos, bem como pela execução das tarefas iniciais de processamento digital. Entre estas tarefas incluem-se a filtragem digital e redução de ruído, a sincronização entre canais fisiológicos, a extração de parâmetros vitais relevantes e a gestão da comunicação sem fios com os restantes elementos do sistema. A comunicação entre o microcontrolador e os sensores poderá recorrer a protocolos como I2C ou SPI, enquanto a transmissão dos dados para um dispositivo externo ou gateway poderá ser realizada através de Bluetooth Low Energy.wearable.

Na componente remota, o software deverá assegurar a receção e armazenamento dos dados biomédicos transmitidos pelo dispositivo, bem como o seu processamento adicional e organização numa base de dados adequada ao contexto clínico. Esta camada poderá ainda disponibilizar APIs para acesso estruturado à informação, facilitando a integração com aplicações de visualização ou módulos adicionais de análise.wearable.

A interface clínica corresponderá a uma aplicação ou dashboard destinada ao profissional de saúde, permitindo a visualização dos sinais fisiológicos, a monitorização em tempo real dos parâmetros adquiridos e o acesso ao histórico recente do utente. Esta interface deverá funcionar como suporte à teleconsulta, contribuindo para uma avaliação clínica mais informada e baseada em dados fisiológicos objetivos.

5.3 Integração Mecânica

A integração mecânica refere-se à forma como os sensores, os módulos eletrónicos e os restantes elementos físicos do sistema são organizados e incorporados no dispositivo wearable, bem como à forma como este interage com o utilizador. Esta componente é essencial para garantir não apenas o correto funcionamento técnico do protótipo, mas também a sua usabilidade em contexto real de teleconsulta.

Em termos ergonómicos, o dispositivo deverá assegurar conforto durante a utilização prolongada e permitir uma colocação simples por parte do utilizador idoso ou de um cuidador. A disposição física dos sensores deverá garantir contacto adequado com o corpo e estabilidade suficiente ao longo da medição, minimizando artefactos provocados por movimento ou mau posicionamento.

A solução mecânica deverá ainda proporcionar robustez estrutural e proteção da eletrónica, assegurando resistência adequada à manipulação e ao uso corrente. Finalmente, a integração física do sistema deverá privilegiar a simplicidade de utilização, reduzindo a necessidade de ajustes manuais e tornando a interação com o protótipo tão intuitiva quanto possível.

6. Complexidade Técnica e Inovação

Esta secção identifica os principais desafios técnicos do projeto e os elementos que demonstram o seu carácter inovador.

Principal desafio de engenharia

O maior desafio do sistema reside na **integração fiável de todo o fluxo de aquisição biomédica**, desde os sensores até à interface clínica, num contexto **não clínico e doméstico**.

Isto implica resolver vários problemas técnicos simultaneamente:

- Aquisição de sinais biomédicos de **baixa amplitude**
- Redução de **ruído e artefactos de movimento**
- **Sincronização entre múltiplos sensores**
- Transmissão de dados com **baixa latência**
- Garantia de **segurança e integridade dos dados**

Desafios específicos

1. Front-end analógico de baixo ruído

Os sinais fisiológicos são frequentemente muito fracos e suscetíveis a interferências. Será necessário desenvolver circuitos de condicionamento que permitam:

- Amplificação estável
- Filtragem eficaz
- Preservação da qualidade do sinal
- No caso da monitorização da frequência respiratória por bioimpedância torácica, torna-se necessária a integração adequada de elétrodos, medição estável de variações de impedância de baixa amplitude e mitigação de artefactos de movimento.

2. Processamento de sinal biomédico

Os sinais adquiridos necessitam de processamento para extrair informação clínica útil, incluindo:

- Filtragem digital
- Detecção de eventos fisiológicos
- Cálculo de parâmetros vitais

3. Sincronização multimodal de sensores

A medição simultânea de vários sinais fisiológicos exige:

- Sincronização temporal entre canais
- Correlação entre sinais

!!isto é fundamental para análise clínica correta!

4. Comunicação eficiente e de baixa latência

Para utilização durante teleconsultas, o sistema deve garantir:

- transmissão rápida dos dados
- estabilidade da ligação
- consumo energético reduzido

5. Usabilidade para utilizadores idosos

Uma componente crítica do projeto é a **simplicidade de utilização**, assegurando que o dispositivo possa ser utilizado por pessoas com:

- baixa literacia tecnológica
- mobilidade reduzida

Elementos de inovação do projeto

O projeto distingue-se por integrar vários aspetos num único sistema:

- **Aquisição multimodal de sinais biomédicos**
- **Integração direta com teleconsulta**
- **Processamento local e transmissão em tempo quase real**
- **Design centrado no utilizador idoso**

Ao contrário de soluções existentes que dependem de múltiplos dispositivos ou apenas videoconferência, este sistema permite que a teleconsulta inclua **dados fisiológicos objetivos**, melhorando a qualidade da avaliação médica remota.