

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - *CAMPUS* OURO BRANCO
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Daniela Oliveira da Costa Lana

**SISTEMA DE RASTREAMENTO INTELIGENTE COM ASSISTENTE
VIRTUAL PARA MONITORAMENTO DE PESSOAS COM
ALZHEIMER**

Ouro Branco - MG

2026

DANIELA OLIVEIRA DA COSTA LANA

**SISTEMA DE RASTREAMENTO INTELIGENTE COM ASSISTENTE
VIRTUAL PARA MONITORAMENTO DE PESSOAS COM
ALZHEIMER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Sistemas de informação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Ouro Branco* para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. Charles Tim Batista Garrocho

Ouro Branco - MG
2026

L243s Lana, Daniela Oliveira da Costa.

Sistema de rastreamento inteligente com assistente virtual para monitoramento de pessoas com Alzheimer. / Daniela Oliveira da Costa Lana. – 2026.

14f.il.col.

Orientadora: Charles Tim Batista Garrocho.

Trabalho de Conclusão de Curso (Sistemas de Informação) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Branco, 2026.

1 Doença de Alzheimer. 2. Monitoramento Remoto. 3. Inteligência artificial generativa. 4. Internet das Coisas (IoT). 5. Geofencing. I. Garrocho, Charles Tim Batista. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Branco. III. Título.

CDU: 004.8



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
CAMPUS OURO BRANCO

Av. Afonso Sardinha, nº 90, Bairro Pioneiros, CEP: 36.420-000, Ouro Branco - Minas Gerais

(31) 3742-2149 – gabinete.ourobranco@ifmg.edu.br

ANEXO II – ATA DE CONCLUSÃO DE TCC

Aos 19 dias do mês de janeiro de 2026, às 19:45 horas, Daniela Oliveira da Costa Lana, aluno(a) regularmente matriculado no Curso de Sistemas de Informação do Instituto Federal de Minas Gerais, campus Ouro Branco, matrícula 0070350, concluiu o seu Trabalho de Conclusão de Curso por meio de:

() Publicação do artigo intitulado _____ na revista/conferência _____, cujo comprovante de aceitação será anexado a esta ata, recebendo a nota _____ pelo trabalho. Eu, na qualidade de orientador do aluno, lavrei a presente ata atestando a conclusão do trabalho, a qual será assinada por mim e pelo aluno.

Professor Orientador

Aluno

(X) Defesa em sessão pública realizada às 19:45 horas, na sala auditório do Instituto Federal de Minas Gerais, campus Ouro Branco, na presença da banca examinadora composta pelos docentes:

- 1 - Carlos Eduardo Paulino Silva
- 2 - Daniela Costa Terra
- 3 - Ederson Naves Fernandes Gonçalves Júnior
- 4 - Marcio Assis Miranda

do artigo intitulado Sistema de Rastreamento Inteligente com Assistente Virtual para Monitoramento de Pessoas com Alzheimer



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
CAMPUS OURO BRANCO

Av. Afonso Sardinha, nº 90, Bairro Pioneiros, CEP: 36.420-000, Ouro Branco - Minas Gerais

(31) 3742-2149 – gabinete.ourobranco@ifmg.edu.br

A banca examinadora, após reunião em sessão reservada, deliberou pela aprovação do referido trabalho, atribuindo a nota 93,2. Eu, na qualidade de presidente da banca examinadora, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.

Observações pertinentes à defesa:

NOME E ASSINATURA DOS COMPONENTES DA BANCA E DO ORIENTADO



Documento assinado digitalmente
CHARLES TIM BATISTA GARROCHO
Data: 23/01/2026 19:20:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Orientador: *Charles Tim Batista Garrocho*



Documento assinado digitalmente
CARLOS EDUARDO PAULINO SILVA
Data: 27/01/2026 14:01:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador 1: *Carlos Eduardo Paulino Silva*



Documento assinado digitalmente
DANIELA COSTA TERRA
Data: 25/01/2026 18:43:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador 2: *Daniela Costa Terra*



Documento assinado digitalmente
EDERSON NAVES FERNANDES GONCALVES JUN
Data: 26/01/2026 11:09:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador 3: *Ederson Naves Fernandes Gonçalves Júnior*



Documento assinado digitalmente
MARCIO ASSIS MIRANDA
Data: 26/01/2026 21:03:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador 4: *Marcio Assis Miranda*



Documento assinado digitalmente
DANIELA OLIVEIRA DA COSTA LANA
Data: 23/01/2026 12:40:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Aluno(a): *Daniela Oliveira da Costa Lana*



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
CAMPUS OURO BRANCO

Av. Afonso Sardinha, nº 90, Bairro Pioneiros, CEP: 36.420-000, Ouro Branco - Minas Gerais

(31) 3742-2149 – gabinete.ourobranco@ifmg.edu.br

DECLARAÇÃO ANTI-PLÁGIO

Eu, *Daniela Oliveira da Costa Lana*, estudante do curso Bacharelado em Sistemas de Informação do IFMG – Campus Ouro Branco, declaro, para os devidos fins e efeitos, e para fazer prova junto ao IFMG – Campus Ouro Branco, que, **sob as penalidades previstas no art. 299 do Código Penal Brasileiro**, que é de minha criação o Trabalho de Conclusão de Curso que ora apresento.

Art. 299 do Código Penal Brasileiro, que dispõe sobre o crime de *Falsidade Ideológica*:

“Omitir, em documento público ou particular, declaração que dele devia constar, ou nele inserir ou fazer inserir declaração falsa ou diversa da que devia estar escrita, com o fim de prejudicar direito, criar obrigação ou alterar verdade sobre fato juridicamente relevante:

Pena – reclusão, de 1 (um) a 5 (cinco) anos, e multa, se o documento é público, e reclusão de 1 (um) a 3 (três) anos, e multa, se o documento é particular.

Parágrafo único. Se o agente é funcionário público, e comete o crime prevalecendo-se do cargo, ou se a falsificação ou alteração é de assentamento de registro civil, aumenta-se a pena de sexta parte”.

Este crime engloba plágio e compra fraudulenta de documentos científicos. Por ser verdade, e por ter ciência do referido artigo, firmo a presente declaração.

Ouro Branco, 23 de janeiro de 2026



Documento assinado digitalmente
DANIELA OLIVEIRA DA COSTA LANA
Data: 23/01/2026 12:39:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do aluno: _____

Sistema de Rastreamento Inteligente com Assistente Virtual para Monitoramento de Pessoas com Alzheimer

Daniela Oliveira da Costa Lana¹, Charles Tim Batista Garrocho¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG)
Ouro Branco, Minas Gerais, Brasil

danioclana@gmail.com, charles.garrocho@ifmg.edu.br

Resumo. *Este trabalho apresenta uma solução tecnológica projetada para mitigar a sobrecarga de cuidadores de pessoas com Alzheimer através do monitoramento remoto inteligente. O conceito central unifica o rastreamento de localização em tempo real com a gestão proativa de zonas de segurança (cercamento virtual), automatizando a vigilância e o envio de alertas críticos via canais de mensageria instantânea. Diferente de sistemas convencionais baseados em painéis complexos, a proposta introduz um assistente virtual baseado em Inteligência Artificial Generativa como interface primária. Esta abordagem permite que o cuidador interaja com o sistema e execute configurações técnicas como definir perímetros ou consultar a localização através de comandos em linguagem natural, democratizando o acesso à tecnologia de monitoramento avançado. Para validar estes conceitos, foi desenvolvida uma prova de conceito agnóstica a hardware, demonstrando a viabilidade de um ecossistema integrado de segurança e cuidado.*

1. Introdução

A Doença de Alzheimer é a forma mais comum de demência, caracterizada pela deterioração progressiva das funções cognitivas e da memória. Estima-se que mais de 55 milhões de pessoas vivam com demência globalmente, um número projetado para aumentar drasticamente nas próximas décadas (World Health Organization, 2021). Entre os sintomas comportamentais e psicológicos da demência (BPSD), a perambulação (wandering) destaca-se como um dos mais desafiadores e perigosos (MCSHANE et al., 1998).

A gravidade desta condição é evidenciada por estudos longitudinais que indicam uma probabilidade significativamente maior de institucionalização precoce e risco de morte para pacientes que se perdem. Este comportamento impõe um estado de hipervigilância aos cuidadores, resultando em altos níveis de estresse físico, emocional e financeiro, fenômeno documentado na literatura como "sobrecarga do cuidador" (MCSHANE et al., 1998; LANDAU; WERNER, 2012).

Um aspecto crítico é a barreira tecnológica enfrentada por esses cuidadores. Interfaces complexas frequentemente inviabilizam a adoção de tecnologias de assistência por usuários idosos (YAMAGATA et al., 2013). Há uma necessidade urgente de sistemas de monitoramento que ocultem a complexidade técnica sob interfaces intuitivas (SHAIK et al., 2025). É neste cenário que a Inteligência Artificial (IA) Generativa surge como mediadora. Grandes Modelos de Linguagem (LLMs) demonstraram eficácia em fornecer suporte contextual, expandindo as possibilidades para o desenvolvimento de sistemas interativos de cuidado (AGUIRRE et al., 2024; ZENG et al., 2024; SUN et al., 2025).

Neste contexto, este trabalho apresenta um ecossistema integral de rastreamento e assistência. O foco central da solução reside na garantia da segurança locacional através de uma arquitetura híbrida e flexível. O projeto abrange desde o desenvolvimento de hardware dedicado de baixo custo (baseado em ESP32) até a integração agnóstica com smartphones e dispositivos de Internet das Coisas (IoT) comerciais.

A plataforma atua como orquestrador central, unificando a ingestão de telemetria e a gestão de perímetros de segurança, conhecidos como cercamento virtual (geofencing). O diferencial crítico da proposta é a mitigação da complexidade operacional através de um assistente virtual baseado em IA Generativa com capacidade de Chamada de Função (Function Calling). Esta integração transforma a plataforma em um agente ativo, permitindo que o cuidador execute configurações técnicas complexas através de linguagem natural, democratizando o acesso a tecnologias de monitoramento avançado.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Demência, Perambulação e o Cuidador

A demência é um termo abrangente para descrever sintomas de comprometimento cognitivo que interferem na vida diária.

A perambulação (wandering) é definida não apenas como o ato de caminhar, mas como uma locomoção que ocorre de maneira desorientada ou motivada por uma necessidade não atendida (fome, dor, busca por passado). Esse comportamento pode ser classificado em padrões distintos, como a verificação incessante ou a busca de saída (MCSHANE et al., 1998). A consequência direta é o risco de evasão: o paciente ultrapassa limites seguros e, devido à desorientação espacial e agnosia (incapacidade de reconhecer locais), não consegue retornar.

Este cenário gera a necessidade de vigilância 24 horas, impactando diretamente o cuidador. O uso de dispositivos de rastreamento é considerado eticamente justificável quando visa equilibrar a autonomia do paciente com sua segurança física, reduzindo a ansiedade do cuidador (LANDAU; WERNER, 2012).

2.2. Sistemas de Posicionamento Global (GNSS)

O monitoramento de localização ao ar livre depende fundamentalmente de Sistemas de Navegação Global por Satélite (GNSS), sendo o Sistema de Posicionamento Global (GPS) o mais conhecido. O funcionamento baseia-se no princípio da trilateração: um receptor (no dispositivo do paciente) capta sinais de tempo de pelo menos quatro satélites visíveis. Ao calcular o tempo que o sinal levou para viajar do satélite ao receptor, determina-se a distância até cada satélite, permitindo o cálculo das coordenadas (latitude, longitude e altitude).

A precisão do GPS, no entanto, é suscetível a erros. Fatores como a geometria dos satélites e obstruções físicas causam o efeito de "Cânion Urbano", onde prédios altos bloqueiam ou refletem sinais, degradando a precisão (CULLEN et al., 2022). Dispositivos modernos, como smartphones, utilizam GPS Assistido (A-GPS), que usa redes celulares para acelerar a obtenção da localização inicial, métrica conhecida como Tempo para Primeira Fixação (Time to First Fix). Esta é uma vantagem sobre módulos IoT puros que dependem exclusivamente do céu aberto.

2.3. Cercamento Virtual e Cálculo de Distâncias

O cercamento virtual (geofencing) é a aplicação lógica sobre a coordenada geográfica. Trata-se da definição de um perímetro virtual em uma área geográfica real. A forma mais comum de implementação é o modelo radial, definido por um ponto central (latitude/longitude) e um raio (R).

Para determinar se um paciente está dentro ou fora da zona segura, o sistema deve calcular a distância entre a posição atual do dispositivo e o centro da cerca. Dado que a Terra é uma esfera oblata e não um plano, o cálculo euclidiano simples é impreciso para distâncias geográficas. A solução padrão adotada na literatura é a Fórmula de Haversine, essencial para minimizar falsos positivos em sistemas de alerta ao determinar a distância do "círculo máximo" entre dois pontos em uma esfera (PRATAMA et al., 2020).

2.4. IA Generativa e Grandes Modelos de Linguagem (LLMs)

A Inteligência Artificial Generativa refere-se a modelos de aprendizado de máquina capazes de gerar novos dados (texto, imagem, código) com características similares aos dados de treinamento. Os Grandes Modelos de Linguagem (LLMs), como a família GPT e Gemini, são redes neurais baseadas na arquitetura Transformer. Eles operam prevendo o próximo fragmento de palavra (token) mais provável em uma sequência, baseando-se em um vasto conjunto de texto pré-processado (ZENG et al., 2024).

Diferente de sistemas de Processamento de Linguagem Natural (NLP) antigos, que dependiam de regras rígidas e palavras-chave, os LLMs utilizam mecanismos de autoatenção (self-attention), permitindo entender o contexto e a intenção do usuário mesmo em frases ambíguas ou informais.

2.5. Chamada de Função e Agentes de IA

Uma limitação histórica dos LLMs é que eles são sistemas de texto isolados: eles podem explicar como configurar um alarme, mas não podem configurar o alarme em si. Para superar isso, desenvolveu-se o conceito de Chamada de Função (Function Calling).

Nesta arquitetura, descreve-se para o modelo quais "ferramentas" (funções de programação) estão disponíveis no sistema, detalhando seus parâmetros em um formato estruturado (geralmente Esquema JSON). Quando o usuário faz uma solicitação (ex: "Crie uma cerca segura aqui"), o modelo não responde com texto, mas gera um objeto JSON contendo o nome da função a ser chamada e os parâmetros extraídos da fala do usuário. O sistema executa a função e devolve o resultado para a IA, que então formula a resposta final. Isso permite criar interfaces conversacionais que controlam diretamente o software e o hardware, abstraindo a complexidade técnica (SUN et al., 2025).

2.6. Trabalhos Relacionados

A literatura apresenta diversas abordagens para o monitoramento de pacientes com demência. A seguir, detalham-se trabalhos que influenciaram as decisões deste projeto, variando entre soluções de hardware dedicado, algoritmos de software e interfaces de conversação.

Sistemas focados estritamente na precisão do cercamento virtual (geofencing) utilizam smartphones para coleta de coordenadas e infraestrutura de nuvem para entrega

de alertas. Tais trabalhos validam algoritmos matemáticos, como a fórmula de Haversine, para minimizar a latência entre a violação do perímetro e o recebimento da notificação pelo cuidador (PRATAMA et al., 2020).

No campo do hardware de baixo custo, implementações com microcontroladores e módulos GPS básicos expõem as limitações físicas de componentes de entrada. Dificuldades significativas na precisão da geolocalização em ambientes urbanos densos foram relatadas, corroborando a necessidade de arquiteturas híbridas que não dependam exclusivamente de um único tipo de hardware (GOKHALE et al., 2022).

A evolução do monitoramento também aponta para a personalização dinâmica das cercas virtuais. Análises de trajetórias históricas via mineração de dados permitem identificar zonas seguras frequentes, reduzindo a carga de configuração manual. No entanto, a interação com esses sistemas frequentemente ainda ocorre via painéis analíticos, mantendo barreiras de usabilidade (LIN; LIU; WANG, 2018).

Outras inovações incluem a combinação de localização com reconhecimento de atividade humana. O uso de sensores inerciais permite distinguir se o paciente está caminhando ou em um veículo, ajustando a frequência de atualização do GPS para economizar bateria. Isso valida o smartphone como uma plataforma sensorial viável e rica (HELMY; HELMY, 2016).

No âmbito das interfaces, revisões sistemáticas sobre robôs de conversação (chatbots) na demência identificam a redução da carga cognitiva como o principal benefício. Estas ferramentas servem como ponto central de informação e suporte, embora a maioria opere isoladamente, sem integração direta com a segurança física (RUGGIANO et al., 2021).

O sistema proposto posiciona-se na intersecção destas abordagens, unificando o rastreamento técnico com a acessibilidade conversacional. A proposta preenche lacunas existentes ao utilizar a IA Generativa não apenas para conversar, mas para controlar ativamente a infraestrutura de cercamento virtual e hardware, criando um ciclo completo de monitoramento acessível.

3. Abordagem Proposta

Esta seção apresenta a materialização da proposta teórica através do desenvolvimento do ecossistema proposto. Para validar a hipótese de um monitoramento acessível e inteligente, o sistema não foi construído como uma aplicação web isolada, mas como um fluxo contínuo de dados que permeia três camadas distintas: a camada física (coleta de dados via hardware), a camada lógica (processamento em nuvem e interfaces web) e a camada cognitiva (interação via inteligência artificial).

3.1. Introdução Geral ao Ecossistema

O sistema teve uma arquitetura concebida para atuar como um orquestrador central de segurança. O fluxo de informação inicia-se no dispositivo (seja ele um protótipo IoT ou um smartphone), trafega por uma API segura que valida a geometria espacial em tempo real, e é apresentado ao cuidador através de interfaces simplificadas ou mediadas por inteligência artificial.

A estrutura modular permite que o sistema evolua: o hardware pode ser substituído sem alterar o backend, e a inteligência artificial pode ganhar novas capacidades sem exigir atualizações nos rastreadores.

A Figura 1 ilustra as interações principais entre os atores do sistema (Cuidador e Dispositivo) e os casos de uso implementados. O diagrama destaca como a Inteligência Artificial atua como uma interface transversal, capaz de consultar dados e executar configurações no sistema.

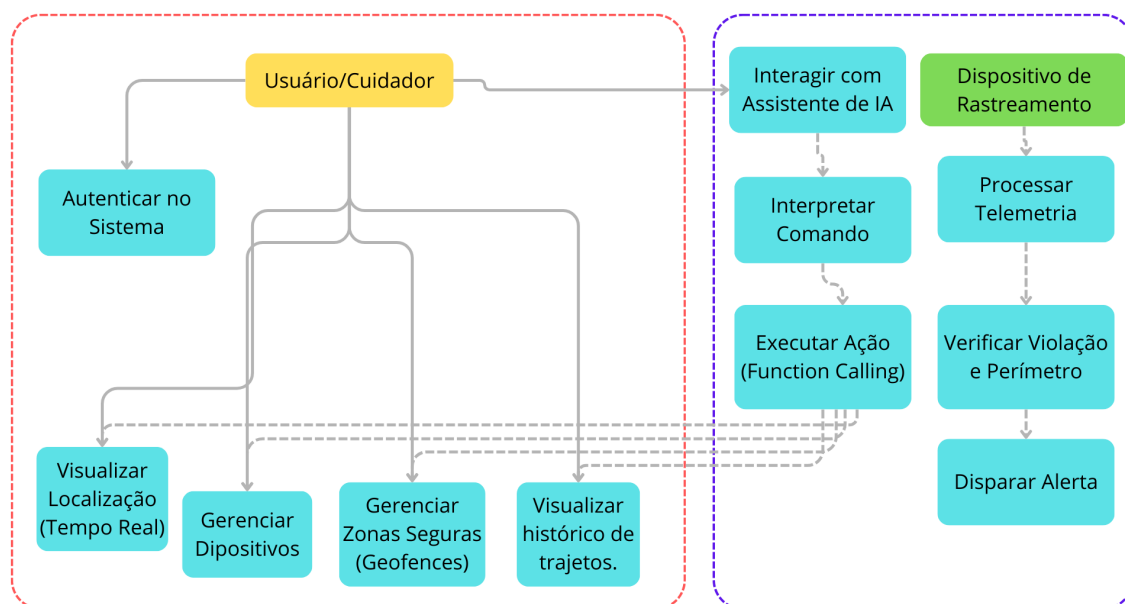


Figura 1. Diagrama de Caso de Uso do sistema.

3.2. Camada de Hardware e Coleta de Dados

A arquitetura do sistema fundamenta-se na premissa de agnosticismo de hardware. A solução foi projetada para aceitar telemetria de qualquer dispositivo capaz de realizar requisições HTTP seguras. Para esta prova de conceito, foram testadas duas vertentes: a utilização de smartphones comerciais como sensores ("Sensor como Serviço") e o desenvolvimento de um protótipo proprietário.

3.2.1. Hardware da Prova de Conceito: iOS via Automação

Para a validação integral do fluxo de dados (Ingestão → Processamento → IA), utilizou-se um smartphone Apple iPhone. A escolha justifica-se pela alta disponibilidade e pela precisão superior dos sensores GNSS assistidos (A-GPS) (HELMY; HELMY, 2016).

A implementação utilizou o recurso nativo "Atalhos"(Shortcuts) do iOS para realizar a ingestão de dados. No aplicativo configurou-se uma ação de rede para enviar uma requisição HTTP do tipo POST para o ponto de extremidade (endpoint) da API. A configuração exigiu a definição de um cabeçalho personalizado X-Device-ID para

autenticação e vinculação do dispositivo no banco de dados. O corpo da requisição, tecnicamente chamado de carga útil (payload), foi estruturado em formato JSON, mapeando dinamicamente as variáveis de ambiente do sistema operacional: o carimbo de tempo (timestamp), o nível de bateria (batteryLevel) e as coordenadas geográficas de Latitude e Longitude.

Embora eficaz para validar a lógica do servidor e o recebimento dos parâmetros, observou-se que o sistema operacional bloqueia automações em repetição contínua em segundo plano. O envio de dados exigiu gatilhos manuais ou baseados em eventos, confirmando a dificuldade técnica em manter monitoramento passivo contínuo em plataformas fechadas, o que fere o princípio ético de não depender da ação do paciente para sua própria segurança (LANDAU; WERNER, 2012).

3.2.2. Protótipo de Hardware Dedicado: ESP32 e A7670SA

Paralelamente à validação via smartphone, desenvolveu-se um protótipo de hardware dedicado visando a independência total do sistema. A arquitetura escolhida integrou o microcontrolador ESP32 D3 Mini ao módulo de comunicação A7670SA, de acordo com a Figura 2.

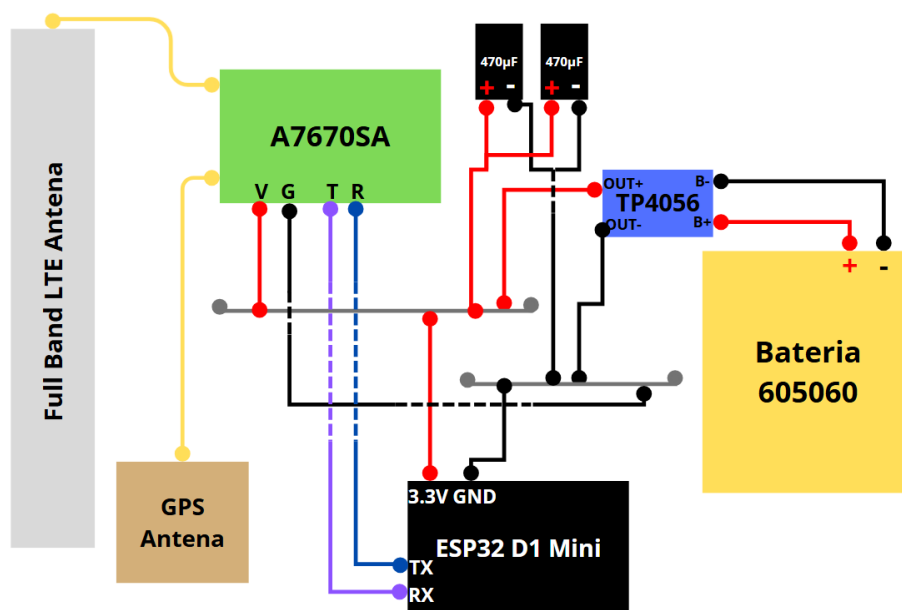


Figura 2. Diagrama de Composição do Protótipo.

A seleção do módulo A7670SA justifica-se por sua capacidade híbrida: ele oferece conectividade LTE (4G) e suporte a GNSS em um único encapsulamento. Diferente de módulos 2G (GPRS) obsoletos, o suporte ao 4G garante longevidade ao dispositivo frente ao desligamento gradual das redes antigas, além de oferecer menor latência na transmissão de alertas de emergência.

A implementação do protótipo demonstrou que a configuração do módulo via comandos AT é direta e robusta para aplicações de IoT. A conexão via rede 4G provou-se vantajosa pela ampla cobertura e velocidade de transmissão de dados JSON para a API

Rest, eliminando a dependência de redes Wi-Fi ou pareamento Bluetooth. No entanto, esta vantagem impõe um consumo energético significativo.

Nos testes de bancada utilizando uma bateria de Polímero de Lítio (Li-Po) de 3000mAh, o dispositivo obteve uma autonomia média de 4 a 6 horas operando em modo de transmissão contínua. Este alto consumo é característico da tecnologia LTE, que exige maior potência de transmissão para manter a conexão com as torres celulares, confirmando os desafios energéticos de dispositivos vestíveis baseados em celular comparados a tecnologias de baixa potência (SALEHI; BAGLAT; GUPTA, 2022).

Embora o A7670SA seja um componente de alto desempenho, a eficácia do rastreamento mostrou-se dependente da arquitetura de antena. Utilizando a antena cerâmica passiva padrão do kit de desenvolvimento, o dispositivo apresentou excelente precisão em ambientes externos com visada direta para o céu. Contudo, em ambientes internos (indoor), observou-se dificuldade na fixação de sinal, alinhando-se às limitações físicas de módulos GNSS de baixo custo em "cânions urbanos" (GOKHALE et al., 2022).

A materialização física deste circuito é apresentada na Figura 3. As imagens evidenciam que, embora funcional eletronicamente, o uso de placas de desenvolvimento para prototipagem resulta em um volume físico considerável, reforçando a necessidade de miniaturização citada na literatura para um produto final discreto e vestível.

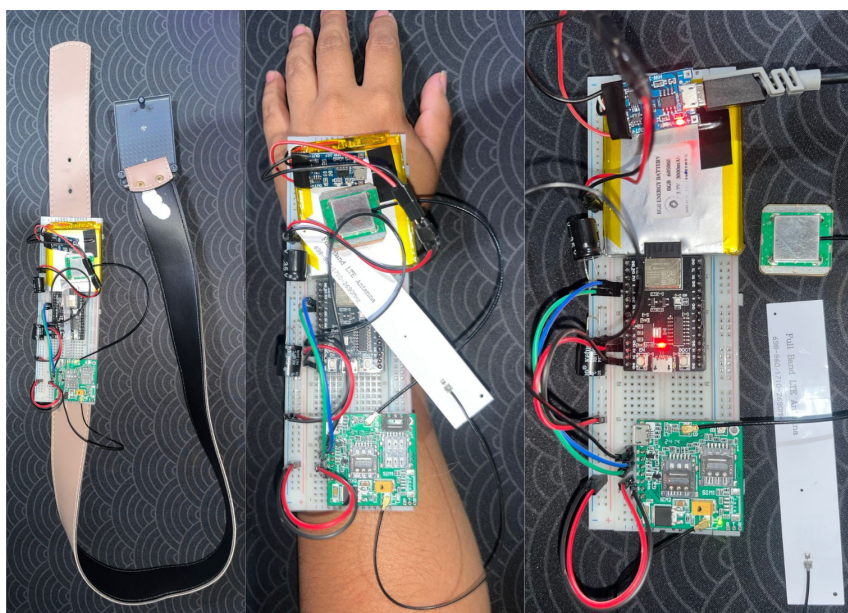


Figura 3. Protótipo funcional em testes de formato vestível (Cinto e Pulso).

O custo de desenvolvimento do protótipo girou em torno de R\$ 500,00, classificando-o como uma solução de médio custo. Embora elevado para um Produto Mínimo Viável (MVP) unitário, este valor refere-se ao hardware de desenvolvimento. Em um cenário de produção em escala industrial, a utilização do chip A7670SA diretamente em placa de circuito impresso (PCB) dedicada reduziria drasticamente o custo unitário.

3.2.3. Arquiteturas Alternativas de Prototipagem

Para trabalhar as limitações de sinal e autonomia observadas no protótipo, a literatura técnica sugere arquiteturas alternativas de prototipagem. A Tabela 1 sumariza a análise comparativa dos dispositivos e tecnologias discutidos.

Tabela 1. Quadro comparativo de tecnologias de hardware para rastreamento IoT.

Tecnologia	Arquitetura Típica	Vantagens Técnicas	Desafios Identificados
Smartphone (MVP)	iPhone (iOS) + Automação	GPS Assistido (A-GPS) de alta precisão.	Bloqueio de background pelo SO (iOS).
Celular (GSM/LTE)	ESP32 + A7670SA (Testado)	Cobertura ampla via rede móvel 4G.	Consumo energético alto; Antenas passivas instáveis (GOKHALE et al., 2022).
GNSS Dedicado	ESP32 + Módulo U-blox NEO-6M	Baixo custo e documentação vasta.	Requer visada direta ao céu; Sem triangulação celular (CULLEN et al., 2022).
LPWAN (LoRa)	ESP32 + RFM95W (LoRaWAN)	Baixíssimo consumo; Longo alcance.	Depende de Gateway próximo; Baixa taxa de dados (SALEHI; BAGLAT; GUPTA, 2022).

Sobre os Módulos GNSS de Alta Sensibilidade, dispositivos dedicados da família U-blox (como NEO-6M ou NEO-M8N) integrados a microcontroladores são citados como alternativas robustas. Diferente dos módulos "combo", estes componentes dedicados possuem sensibilidade superior e suportam antenas ativas, mitigando a perda de sinal (GOKHALE et al., 2022).

Quanto às Redes de Baixa Potência (LPWAN), uma das maiores críticas ao uso de módulos GSM/LTE é o alto consumo de bateria. O uso da tecnologia LoRaWAN permite rastreamento com consumo ínfimo, ideal para pacientes que não podem recarregar o dispositivo diariamente. A limitação reside na necessidade de cobertura de gateways LoRa na região (SALEHI; BAGLAT; GUPTA, 2022).

Em relação às Soluções Integradas (SiP), para miniaturização, placas que integram MCU, LoRa/GPS e gerenciamento de bateria em um único chip (conhecido como Sistema em Pacote), como a série LILYGO T-Beam, oferecem um compromisso ideal entre tamanho e potência de sinal (CULLEN et al., 2022).

3.3. Camada Web e Infraestrutura Cloud

A aplicação web atua como o núcleo processador do ecossistema. A arquitetura foi desenvolvida utilizando Next.js (App Router) com React, aproveitando otimizações de renderização do lado do servidor (SSR). Para o backend e infraestrutura de dados, adotou-se uma abordagem sem servidor (serverless) com Supabase (PostgreSQL), utilizando Segurança em Nível de Linha (RLS) para isolamento rigoroso de dados entre usuários. A autenticação é gerenciada pelo Clerk.

Esta seleção tecnológica foi guiada por dois critérios fundamentais: a redução de custos e a agilidade na prototipagem. Ao utilizar serviços que oferecem camadas gratuitas generosas e infraestrutura gerenciada, foi possível viabilizar um Produto Mínimo Viável (MVP) funcional sem custos fixos de servidor, democratizando o desenvolvimento da solução.

3.3.1. Fluxo de Dados e API de Ingestão

O banco de dados estrutura-se em tabelas relacionais para gerenciar dispositivos, histórico de localizações e configurações de alerta. A ingestão destes dados não ocorre diretamente no banco, mas através de uma API intermediária segura.

A lógica implementada no ponto de extremidade (endpoint) de recepção (`/api/locations`) opera de forma assíncrona para garantir alta disponibilidade. Ao receber um pacote de telemetria via requisição HTTP POST, o sistema realiza três operações sequenciais: (1) validação da integridade do JSON e das credenciais do dispositivo; (2) persistência imediata dos dados brutos para histórico; e (3) disparo do processamento de regras de negócio (verificação de cercas virtuais) em segundo plano. O sistema retorna um código de status HTTP 202 (Accepted) imediatamente, liberando o processador do dispositivo rastreador para economizar bateria.

3.3.2. Lógica Matemática de Geofencing

Para determinar a segurança do paciente, o sistema abandona cálculos cartesianos simples em favor da trigonometria esférica. A verificação de violação de perímetro utiliza a Fórmula de Haversine.

Esta abordagem matemática calcula a distância do "círculo máximo" entre dois pontos em uma esfera (a Terra), considerando sua curvatura. O algoritmo compara a distância calculada entre a última coordenada recebida e o ponto central da zona segura cadastrada. Se a distância resultante for superior ao raio definido pelo cuidador, o sistema identifica uma violação de perímetro e aciona o módulo de alertas. A eficácia deste método para minimizar falsos positivos em monitoramento de saúde é reconhecida na literatura (PRATAMA et al., 2020).

3.3.3. Interface do Cuidador

As principais interfaces móveis do sistema são apresentadas abaixo.

O Painel Principal (Dashboard) (Figura 4) atua como a central de comando. Cada dispositivo monitorado é representado por um cartão ("card") que exhibe, de forma hierárquica, as informações vitais: status de conexão e nível de bateria. O uso de ícones semânticos e códigos de cores (vermelho para alerta/bateria crítica) permite que o cuidador realize uma triagem visual instantânea do estado do sistema.

Na interface de Zonas Seguras (Figura 5), o sistema abstrai a complexidade matemática das coordenadas GPS. O cuidador define a zona segura manipulando visualmente um raio sobre o mapa. Esta abordagem de manipulação direta mitiga erros de entrada de dados e fornece uma resposta visual imediata sobre a área geográfica que está sendo protegida.

A visualização de Monitoramento Unificado (Figura 6) consolida a posição em tempo real de todos os rastreadores ativos. Esta funcionalidade é crítica para cenários institucionais (casas de repouso), permitindo a supervisão simultânea de múltiplos pacientes em uma única interface cartográfica, sem a necessidade de alternar entre telas.



Figura 4.
Dashboard.

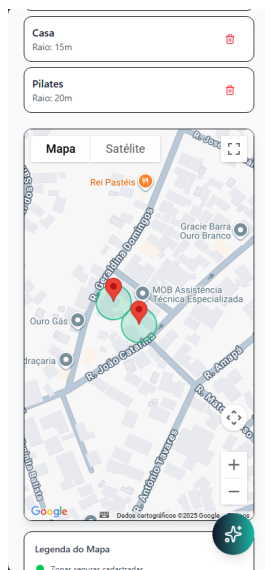


Figura 5.
Zonas Seguras.

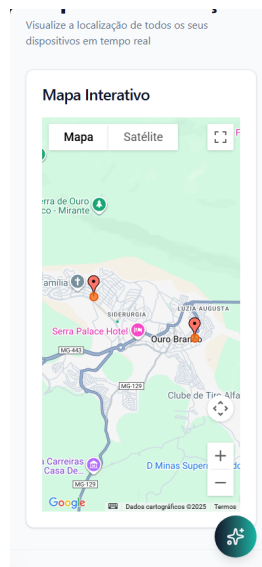


Figura 6.
Monitoramento.

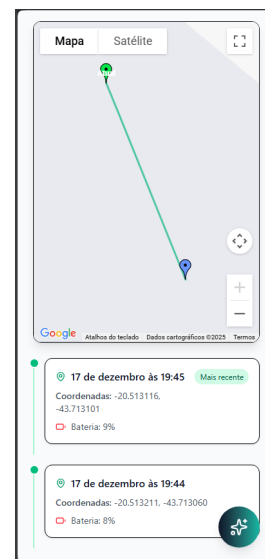


Figura 7.
Histórico.

Por fim, a interface de Histórico (Figura 7) plota a trajetória percorrida em um intervalo de tempo selecionável. Além de confirmar a localização passada, esta ferramenta auxilia na identificação de padrões de perambulação (wandering patterns), permitindo que cuidadores e profissionais de saúde identifiquem rotas de fuga recorrentes ou locais de interesse do paciente, possibilitando a análise comportamental (LIN; LIU; WANG, 2018).

3.4. Camada de Inteligência Artificial

A camada cognitiva endereça a necessidade de interação natural e redução de complexidade (RUGGIANO et al., 2021; SUN et al., 2025). Diferente de chatbots tradicionais baseados em árvores de decisão estáticas, o sistema utiliza um Grande Modelo de Linguagem (LLM) — especificamente o Google Gemini Pro — configurado como um agente autônomo.

A implementação técnica utiliza o SDK de IA do Google em conjunto com a infraestrutura Vercel. Esta arquitetura permite injetar contexto dinâmico em cada interação e mapear funções do backend como "ferramentas" cognitivas que o modelo pode decidir utilizar conforme a necessidade do diálogo.

3.4.1. Engenharia de Prompt e Contexto

Para garantir que o assistente se comporte como um especialista em cuidado e não como uma IA genérica, utiliza-se uma "Instrução de Sistema" (System Instruction). Este texto é invisível para o usuário final, mas é enviado pelo backend em todas as requisições para balizar a personalidade e as regras de segurança do modelo.

Um diferencial crítico desta implementação é a injeção dinâmica de contexto. A cada mensagem enviada, o sistema anexa automaticamente a data atual e a geolocalização do cuidador. Isso permite que a IA compreenda referências relativas (Figura 8). Se o

usuário disser "aqui" ou "agora", o modelo possui os dados exatos para interpretar essas variáveis.

O comportamento do assistente é regido por instruções, como a fornecida no prompt a seguir:

```
Você é um assistente especializado para cuidadores de
pessoas com Alzheimer.
CONTEXTO ATUAL: [Data/Hora do Servidor] | [Coordenadas GPS
do Cuidador]
DIRETRIZES:
1. Seja direto, empático e evite jargão técnico.
2. Utilize a localização fornecida no contexto sempre que o
usuário referenciar 'aqui' ou 'neste local'.
3. Antes de executar ações críticas (como criar zonas de
segurança), confirme os parâmetros entendidos.
```

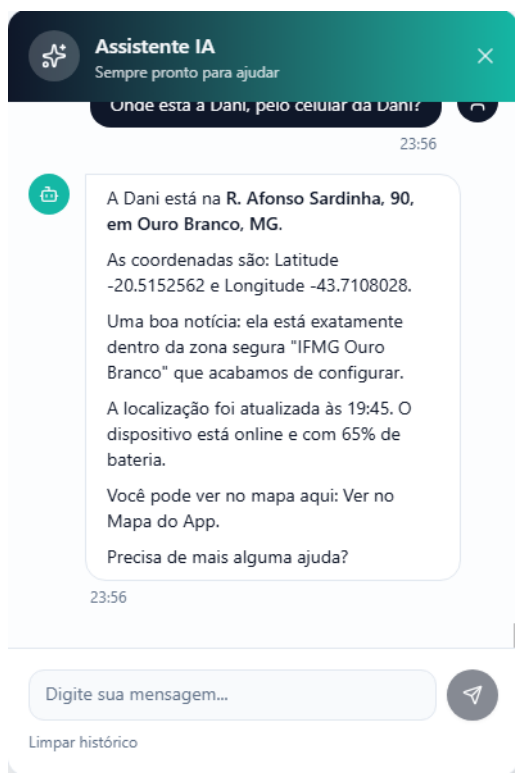


Figura 8. Interface de chat com o assistente virtual executando funções.

3.4.2. Mecanismo de Chamada de Função

A capacidade de transformar conversa em ação real é provida pelo recurso de Chamada de Função (Function Calling). O sistema não permite que a IA execute código arbitrário; em vez disso, ele fornece ao modelo um "cardápio" de ferramentas disponíveis, descritas através de um esquema rigoroso de tipos e parâmetros. O funcionamento ocorre em quatro etapas:

1. Interpretação: O usuário envia um comando (ex: "Crie uma área segura de 300 metros aqui.").
2. Extração: O modelo analisa a frase e extrai as entidades necessárias baseadas na descrição da ferramenta. Ele identifica que "300 metros" corresponde ao parâmetro `raio` e que "aqui" corresponde às coordenadas injetadas no contexto.
3. Execução: O modelo gera uma solicitação estruturada (JSON) pedindo ao backend para executar a função `createGeofence`. O sistema valida os dados e realiza a inserção no banco de dados Supabase.
4. Resposta: O backend devolve o resultado (sucesso ou erro) para a IA, que então gera a resposta final em linguagem natural para o cuidador.

Esta abstração permite que operações complexas de banco de dados, que exigiriam formulários com múltiplos campos, sejam acionadas por uma única frase, removendo a barreira de entrada para cuidadores com baixa literacia digital.

3.4.3. Sistema de Alertas

O sistema utiliza o serviço CallMeBot para envio de mensagens imediatas e o Resend para e-mails transacionais. A onipresença de aplicativos de mensageria aumenta a probabilidade de resposta rápida do cuidador em situações de perambulação, conforme destacado na literatura (SHAIK et al., 2025).

4. Trabalhos Futuros

O desenvolvimento da plataforma estabeleceu uma base sólida para o monitoramento remoto, mas a complexidade inerente ao cuidado de demência aponta diversas direções para evolução do sistema.

No que tange ao sistema de alertas, planeja-se a integração da API oficial do WhatsApp (WhatsApp Business API) e notificações ativas (Push) via Aplicação Web Progressiva (PWA). Mensageiros instantâneos são identificados como canais críticos de resposta rápida (SHAIK et al., 2025).

Quanto à inteligência artificial, o assistente virtual poderá ser evoluído para incorporar memória de longo prazo e análise preditiva. A análise de padrões de rotina pode sugerir dinamicamente a criação de zonas seguras, ou alertar sobre desvios de padrão antes mesmo que uma cerca virtual seja cruzada, expandindo os conceitos de cercamento virtual dinâmico (LIN; LIU; WANG, 2018).

Por fim, a evolução do hardware é indispensável. A integração de dispositivos vestíveis comerciais à API do sistema é o próximo passo lógico. O objetivo é eliminar a dependência de protótipos artesanais ou smartphones volumosos, oferecendo dispositivos que o paciente possa usar confortavelmente sem estigma ou desconforto (CULLEN et al., 2022).

5. Conclusão

Este trabalho apresentou o sistema desenvolvido como uma proposta de intervenção tecnológica para o cuidado de pessoas com demência, transcendendo a definição de um simples software de rastreamento.

A principal contribuição conceitual reside na mudança de paradigma da interface humano-computador. Ao substituir painéis de controle complexos por um assistente virtual capaz de interpretar linguagem natural e executar ações (Chamada de Função), o sistema desenvolveu a hipótese de que a tecnologia avançada pode ser acessível a usuários com baixo letramento digital. Esta abordagem atende diretamente às demandas por redução de fricção operacional identificadas na literatura (YAMAGATA et al., 2013; RUGGIANO et al., 2021), provando que a complexidade do sistema deve residir no servidor, e não na interação com o usuário.

No âmbito da infraestrutura física, a investigação confirmou que a segurança do paciente exige robustez superior à oferecida por soluções de prototipagem básica. A instabilidade observada em dispositivos de baixo custo reforçou a importância estratégica de uma arquitetura de software agnóstica. A decisão de desacoplar a inteligência do sistema (Nuvem/IA) do dispositivo de coleta (Hardware) provou-se vital, pois permite que o ecossistema utilize sensores de grau industrial ou smartphones modernos para garantir a confiabilidade do sinal em cenários críticos, contornando as limitações físicas apontadas por (GOKHALE et al., 2022).

Em suma, a solução propõe um modelo onde a tecnologia atua como uma extensão da capacidade de cuidado, e não como mais uma tarefa a ser gerenciada. O sistema entrega uma ferramenta que equilibra a vigilância necessária para a segurança física do paciente com a simplicidade de uso essencial para a tranquilidade do cuidador, estabelecendo um alicerce sólido para o futuro do monitoramento assistivo domiciliar.

Referências

- AGUIRRE, A. et al. Assessing the quality of ChatGPT responses to dementia caregivers' questions: Qualitative analysis. *JMIR Aging*, v. 7, p. e53019, 2024.
- CULLEN, A. et al. Wearable and portable GPS solutions for monitoring mobility in dementia: A systematic review. *Sensors*, v. 22, n. 9, p. 3336, 2022.
- GOKHALE, P. et al. Patient monitoring using geofencing. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, v. 10, n. XI, p. 427–430, 2022.
- HELMY, J.; HELMY, A. The Alzimio app for dementia, autism & Alzheimer's: Using novel activity recognition algorithms and geofencing. In: *2016 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*. [S.l.]: IEEE, 2016. p. 1–8.
- LANDAU, R.; WERNER, S. Ethical aspects of using GPS for tracking people with dementia: recommendations for practice. *International Psychogeriatrics*, v. 24, n. 3, p. 358–366, 2012.
- LIN, Q.; LIU, X.; WANG, W. GPS trajectories based personalized safe geofence for elders with dementia. In: *2018 IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence and Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Cloud and Big Data Computing, Internet of Things and Smart City Applications*. [S.l.]: IEEE, 2018. p. 1–8.
- MCSHANE, R. et al. Getting lost in dementia: a longitudinal study of a behavioral symptom. *International Psychogeriatrics*, v. 10, n. 3, p. 253–260, 1998.

- PRATAMA, E. R. et al. Geofencing technology in monitoring of geriatric patients suffering from dementia and alzheimer. In: *2020 3rd International Conference on Computer and Informatics Engineering (IC2IE)*. [S.l.]: IEEE, 2020. p. 106–111.
- RUGGIANO, N. et al. Chatbots to support people with dementia and their caregivers: Systematic review of functions and quality. *Journal of Medical Internet Research*, v. 23, n. 6, p. e25006, 2021.
- SALEHI, A. W.; BAGLAT, P.; GUPTA, G. IoT-Based wearable devices for patients suffering from Alzheimer Disease. *Contrast Media & Molecular Imaging*, v. 2022, p. 3224939, 2022.
- SHAIK, M. A. et al. Advancing remote monitoring for patients with Alzheimer Disease and related dementias: Systematic review. *JMIR Aging*, v. 8, p. e69175, 2025.
- SUN, F. et al. Interactive AI technology for dementia caregivers: Needs assessment and implementation evidence. *Journal of Technology in Human Services*, v. 43, n. 2, p. 91–116, 2025.
- World Health Organization. *Dementia*. 2021. Fact sheet. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- YAMAGATA, C. et al. Mobile app development and usability research to help dementia and Alzheimer patients. In: *2013 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*. [S.l.]: IEEE, 2013. p. 1–6.
- ZENG, J. et al. Assessing the role of the Generative Pretrained Transformer (GPT) in Alzheimer's Disease management: Scoping review. *Journal of Medical Internet Research*, v. 26, p. e51095, 2024.