



Título: alôfono: Prova de conceito de uma ferramenta de triagem auditiva baseada na web

INTRODUÇÃO: No Brasil, o acesso da população ao diagnóstico audiológico e/ou reabilitação auditiva é um desafio. Neste cenário, soluções *eHealth* apresentam-se como um recurso importante para o gerenciamento da informação clínica, tratamento de usuários e otimização dos recursos de saúde pública. Existem no mercado diversos aplicativos com a proposta de realizar triagem ou diagnóstico auditivo. Contudo, essas soluções *eHealth* apresentam desafios como, garantia do amplo acesso via dispositivos móveis, segurança de dados, aprimoramento da usabilidade. Assim, torna-se imprescindível o desenvolvimento de uma solução pautada em: baixa manutenção (pois soluções implantadas em *softwares* locais necessitam de atualizações constantes); acessibilidade e fidedignidade do sistema em todas as plataformas; e compatibilidade de navegadores (ARBW funcionam em diferentes navegadores com o mesmo comportamento entre as plataformas).

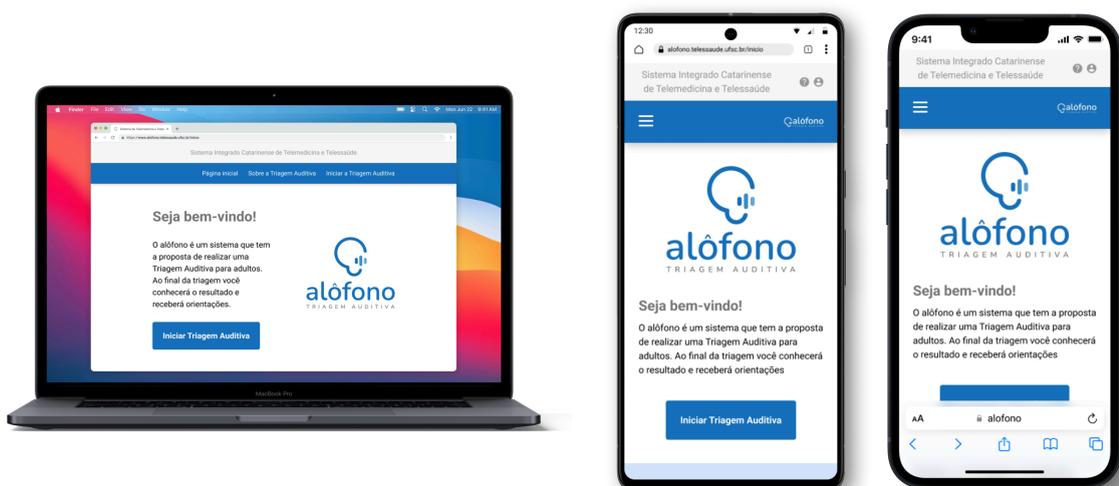
OBJETIVOS: Descrever o desenvolvimento de uma aplicação responsiva baseada na web (ARBW) de triagem auditiva voltada à população adulta e implementação de um módulo de análise de dados.

MÉTODOS: A ARBW, denominada [alôfono](#), foi desenvolvida a partir de um estudo financiado pela Chamada Pública FAPESC Nº 16/2020 Programa Pesquisa para o SUS: Gestão compartilhada em Saúde - PPSUS (2020 - 2023) e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sob o número CAEE 46375021.2.0000.0121. O desenvolvimento foi caracterizado por decisões de *design* centradas no usuário, apoiadas pelo método para o *design* de objetos digitais interativos - Iterato e método AGILE. Ensaios piloto foram realizados com adultos normo-ouvintes que testaram as versões do alôfono em diferentes dispositivos móveis e fixos, com diferentes tipos de fones de ouvido e em situações distintas. A primeira versão viável do

alôfono passou por testes iterativos, melhorias e complementos. A versão de produção foi submetida a ensaios de validação com 76 adultos, com e sem queixa auditiva. Por meio de modelagem probabilística e análise da curva ROC foram determinados os parâmetros de decisão definitivos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O alôfono foi concebido como parte de uma arquitetura de microsserviços implantada dentro do ecossistema do Sistema de Telemedicina e Telessaúde (STT) da UFSC, permitindo sua manutenção continuada e acesso via navegador web, independente de sistemas operacionais do dispositivo de acesso. Foi desenvolvida como aplicação de triagem auditiva responsiva baseada em web (ARBW), otimizado para uso por navegadores baseados em Chromium (Chrome, Opera, Edge), que no Brasil representam de forma consistente 80% do mercado de navegadores, podendo também ser utilizado em outros. As diferentes funcionalidades do alôfono foram agrupadas em dois módulos: 1- módulo de *triagem auditiva*, que pode ser acessado por computadores ou dispositivos móveis Android, ou iOS, e 2 - módulo de *análise*, que gerencia funções complementares ao módulo principal, agrupa, caracteriza e visualiza os dados das triagens realizadas. A interface inicial do módulo de *triagem auditiva* é apresentada na Figura 1.

Figura 1. Impressão visual da tela de boas vindas da ARBW alôfono em laptop e dispositivos móveis.



Inicialmente, foram implementadas duas ferramentas de triagem auditiva: o teste de dígitos no ruído (TDR) e o questionário *Speech, Spatial and Qualities of*

Hearing Scale (SSQ5) na versão reduzida em Português Brasileiro, como métodos para determinação de “passa”/“falha”. Foram disponibilizadas inicialmente as funcionalidades: 1- Cadastro e acesso, com integração ao Cadastro Nacional de Usuários do SUS - **CadSUS**; 2- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido; 3- Apresentação da ferramenta e orientação ao usuário (Figura 2); 4 - coletas de dados pré-TDR (Figura 3); 5 - Teste de Dígitos no Ruído; 6- Questionário SSQ5 e 7- Resultado final da triagem.

Figura 2. Interfaces de boas-vindas e orientações básicas ao usuário

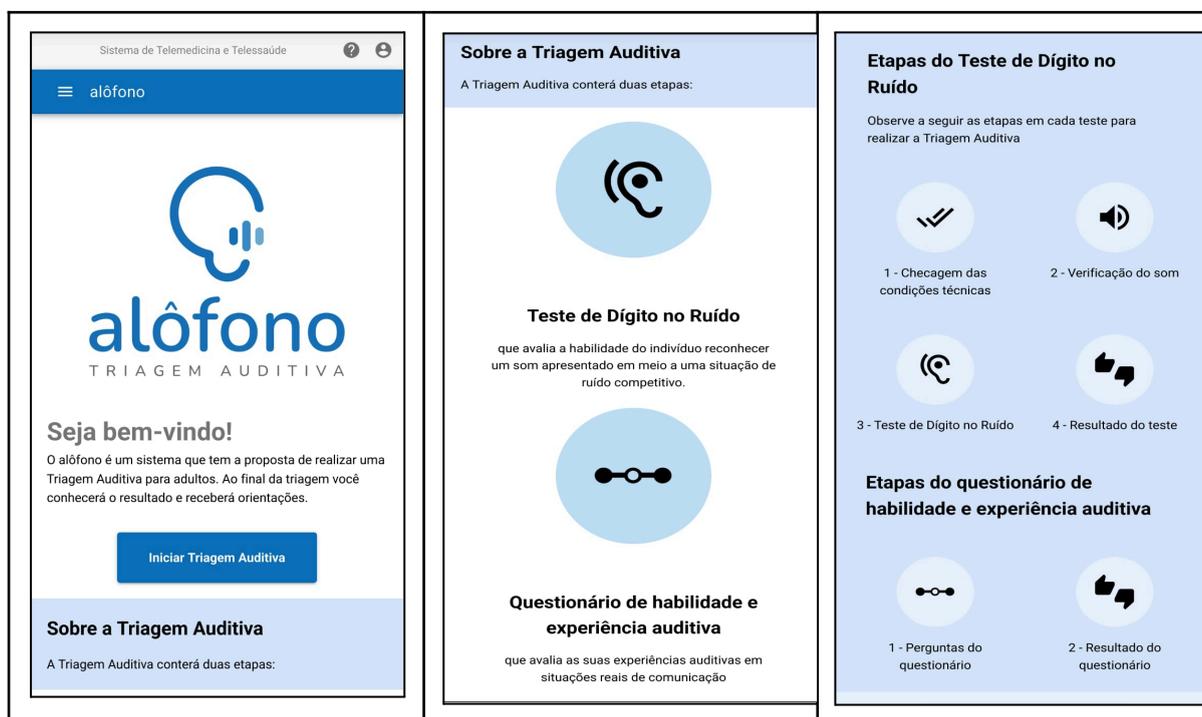
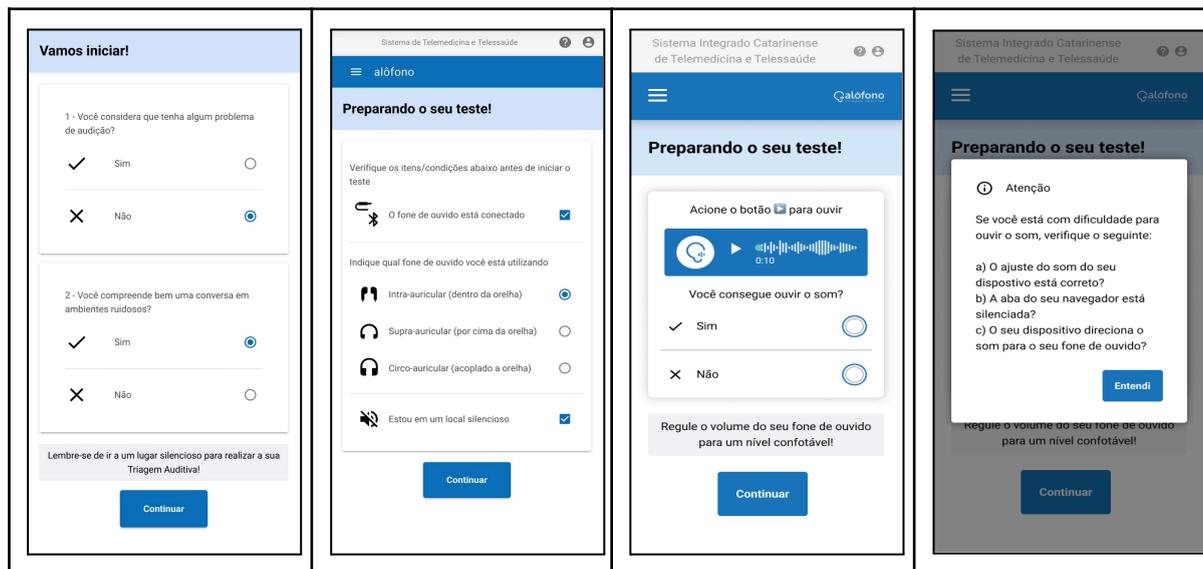
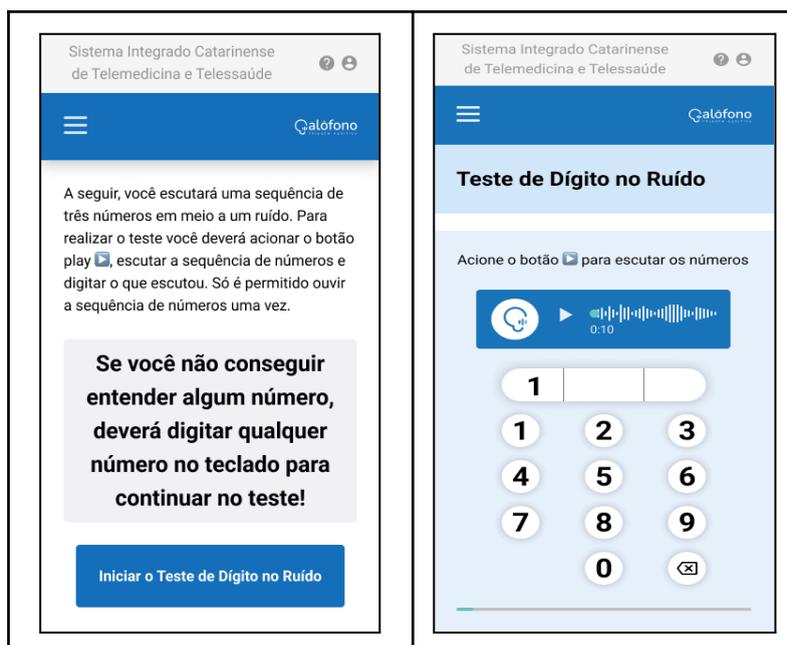


Figura 3. Interfaces de coletas de dados pré-TDR



O TDR implementado no alôfono consiste na apresentação de uma seqüência de 23 combinações aleatórias de três dígitos, falados por voz masculina, contaminados com *speech shaped noise* na orelha sob teste e apenas *speech shaped noise* na orelha contralateral. A partir de orientações sobre o teste (painel esquerdo da Figura 4), o usuário inicia a triagem por meio do TDR usando a interface no painel direito da Figura 4.

Figura 4. Interfaces do Teste de Dígitos no Ruído

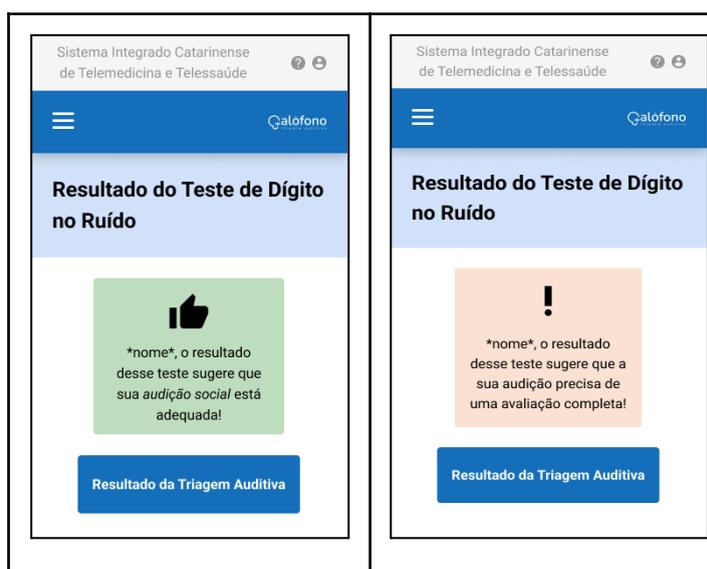


O teste é iniciado com apresentação de 3 dígitos com uma relação sinal-ruído (SNR) de +4dB, e, conforme a resposta registrada pelo usuário, a SNR da combinação seguinte de dígitos é ajustada, da seguinte forma:

- a) acertados 3 dos 3 dígitos apresentados, a SNR da próxima combinação é reduzida em -4 dB,
- b) acertados 2 dos 3 dígitos, a SNR da próxima combinação é reduzida em -2 dB,
- c) acertado apenas 1 dos 3 dígitos, a SNR da próxima combinação é aumentada em 2 dB,
- d) nenhum dos 3 dígitos for acertado, a SNR da próxima combinação é aumentada em 4 dB.

Concluída a coleta das respostas em cada uma das orelhas, o módulo de análise estima a função psicométrica para cada orelha por meio de um método probabilístico de análise Bayesiana com modelo beta-binomial. De cada curva psicométrica é extraído o limiar de reconhecimento de fala no ruído competitivo (*speech recognition threshold in noise* - SRTn) da orelha, que consiste na SNR em que o indivíduo reconhece 55% dos dígitos corretamente, já que na apresentação de dígitos de zero a nove sempre existe uma chance de 10% de acerto. A partir dos SRTn das duas orelhas, o alôfono apresenta o resultado, indicando “passa” ou “falha” no TDR (Figura 5).

Figura 5. Interfaces de comunicação dos resultados do TDR



Inicialmente, utilizou-se o critério de $SRTn \leq -10$ dB nas duas orelhas: (sugestivo de) audição social normal e $SRTn > -10$ dB em qualquer uma das orelhas: (sugestivo de) alteração auditiva. Com base na análise da curva ROC dos dados coletados na fase da validação do alôfono com adultos o critério de “passa” ou “falha” na triagem foi ajustado para a versão final, na qual $SRTn > -11$ dB é considerado sugestivo de alteração auditiva e $SRTn \leq -11$ dB sugestivo de audição social normal. Tais valores de $SRTn$ foram validados por meio da comparação com dados da audiometria tonal liminar na amostra de sujeitos que realizou a triagem auditiva no alôfono. A Tabela 3 resume as métricas de performance do TDR com limiar de SRT de -11 dB.

Tabela 1. Métricas de performance com limiar de SRT de -11 dB.

Aspectos avaliados	Cálculo	Resultado (%)
Acurácia	$(40 + 89) / (40 + 89 + 8 + 15)$	84,9
Sensibilidade	$(40 / (40 + 8))$	83,3
Especificidade	$(89 / (15 + 89))$	85,6
VPP	$(40 / (40 + 15))$	72,7
VPN	$(89 / (8 + 89))$	91,7

Integrou a versão inicial do alôfono também o questionário SSQ5 (Figura 6), que avalia a experiência subjetiva e quantifica as inabilidades de escuta em situações realistas de comunicação. Devido à dificuldade considerável dos usuários, especialmente os de maior idade, de compreender as perguntas e marcar as respostas de forma autônoma removeu-se da versão final do alôfono o questionário.

Finalizado o processo de triagem auditiva é exibido ao usuário o resultado efetivo da triagem, semelhante ao resultado “passa” ou “falha” do TDR e uma mensagem de agradecimento pela realização da triagem auditiva (Figura 7).

Figura 6. Interfaces do questionário SSQ 5 e de comunicação do resultado do questionário (retirados na versão final).

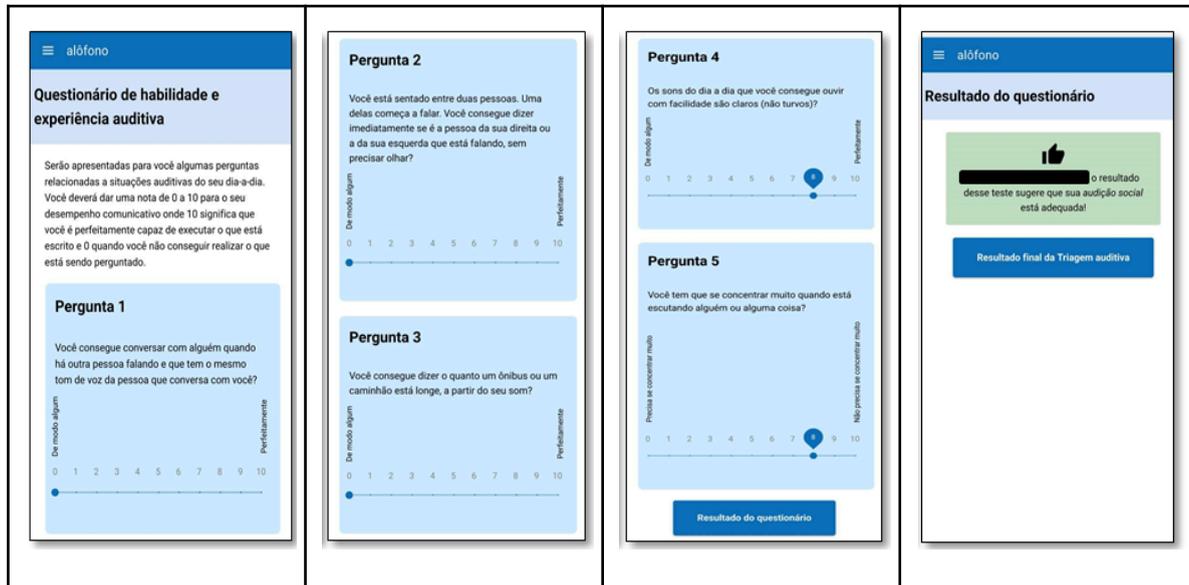
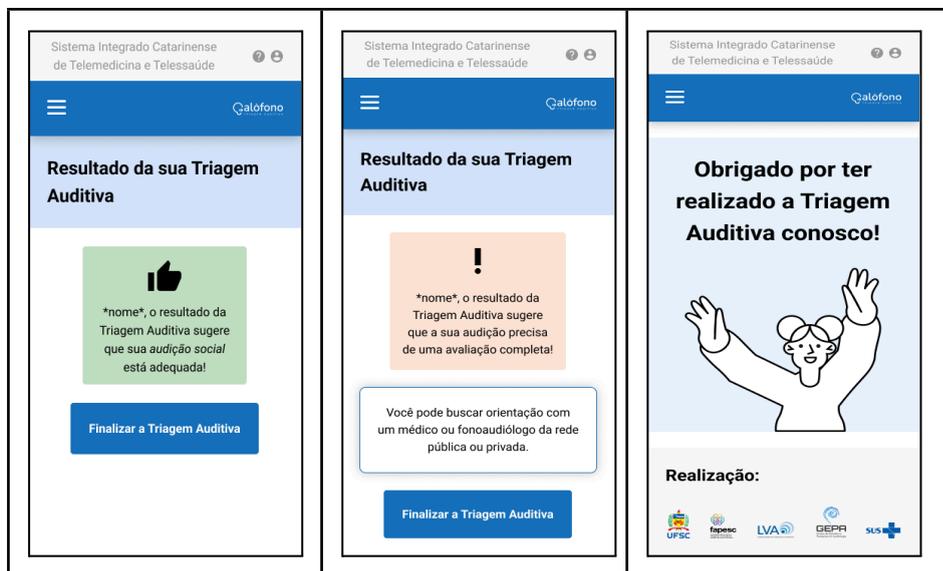


Figura 7. Apresentação do resultado geral da triagem auditiva e agradecimento



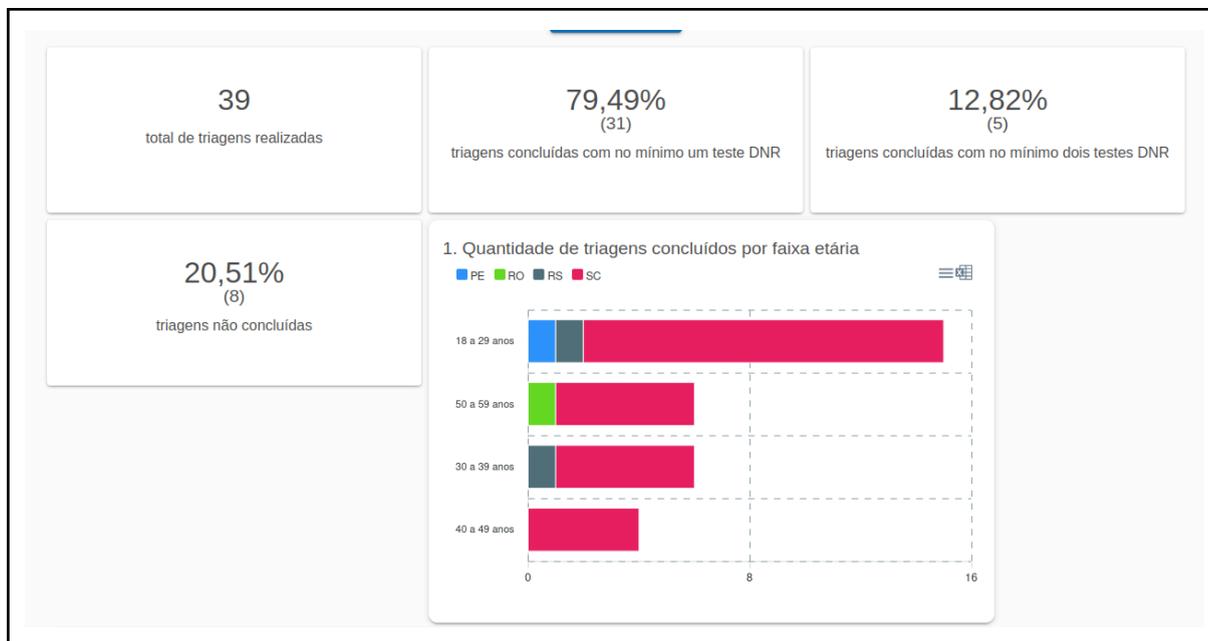
Além da estimativa das curvas psicométricas e dos SRTn, o módulo de análise, acessível apenas para gestores e usuários habilitados, coleta e integra dados relevantes demográficos e dados sobre os dispositivos utilizados para realização do teste (sistema operacional, navegador utilizado) bem como o tempo

decorrido no teste. Os dados são analisados e podem ser filtrados (Figura 8) e visualizados (Figura 9) por meio de painéis distintos.

Figura 8. Filtros disponíveis no *dashboard* do módulo análise do alôfono

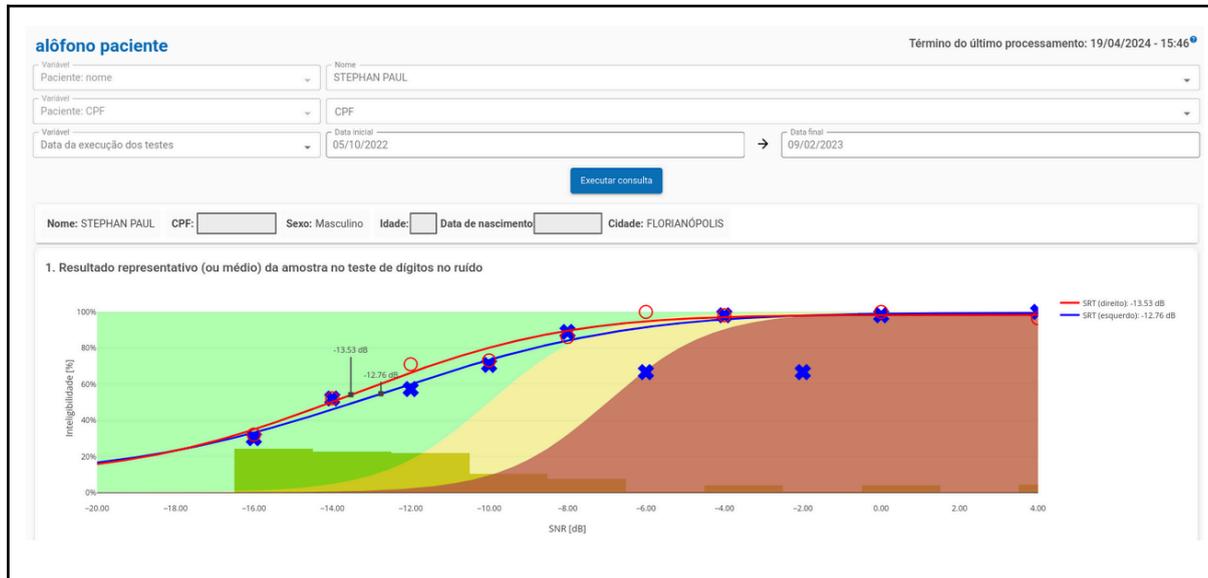
The screenshot shows the 'Análise' dashboard for 'alôfono'. It features a navigation bar with 'PÁGINA INICIAL', 'TABELA DE DADOS', 'DASHBOARD', and 'MAPA INTERATIVO'. The main area contains several filter fields: 'Data da execução dos testes' (01/01/2023 to 11/10/2023), 'Paciente: estado' (Estado), 'Paciente: município' (Município), 'Paciente: sexo' (Sexo), and 'Paciente: idade' (Mínimo and Máximo). A 'Executar consulta' button is at the bottom.

Figura 9. Exemplo da visualização de dados gerais (macro) pelo *dashboard* do módulo análise



As curvas psicométricas das orelhas de indivíduos ou grupos de indivíduos também podem ser visualizadas (Figura 10).

Figura 10. Curvas psicométricas e SRTn da orelha direita e esquerda, respectivamente, obtidas por ajuste probabilístico aos dados coletados em distintos momentos pelo TDR de um indivíduo



CONCLUSÃO: O “alôfono” enquanto aplicação responsiva baseada na web, em seus módulos de triagem auditiva e de análise de dados, demonstrou ser promissor e passível de utilização na atenção primária à saúde, visando otimização dos encaminhamentos para o diagnóstico audiológico e oferecendo a opção ao gestor de saúde analisar dados macro capazes de repercutir nas políticas públicas da área de saúde auditiva. Destacam-se, como aspectos relevantes, a independência da solução de *hardware* específico, podendo rodar em inúmeros sistemas desde que tenham navegador para internet, dispensando a instalação e atualização de *softwares* ou aplicativos. Além disso, a possibilidade de alterações e correções de forma centralizada para todos os usuários, a integração a um sistema de telemedicina consolidado e a integração com os dados do CAD-SUS.