

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL BENTO QUIRINO

Ensino Médio com Habilitação Profissional de Técnico em Eletrônica – Período
Integral

BRAYAN RICHER SOUZA SANTOS

FELIPE OLIVEIRA RODRIGUES DE SOUZA

LEANDRO BRAILA MARTINS DE OLIVEIRA

Óptica 3.0 – Dispositivo Auxiliar de Leitura para Analfabetos

Campinas/SP

2025

BRAYAN RICHER SOUZA SANTOS
FELIPE OLIVEIRA RODRIGUES DE SOUZA
LEANDRO BRAILA MARTINS DE OLIVEIRA

Óptica 3.0 – Dispositivo Auxiliar de Leitura para Analfabetos

Escola Técnica Estadual Bento Quirino

Endereço: Av. Orosimbo Maia, 2600, Vila
Itapura, Campinas/SP.

Período de desenvolvimento: de
20/02/2025 a 15/10/2024.

Relatório apresentado à 15ª
Bragantec – Feira de Ciência e
Tecnologia do Instituto Federal de
Bragança Paulista. Projeto
orientado pela prof.^a Me. Regina
Morishigue Kawakami e coorientado
pelo prof.^o Me. Marcelus Guirardello,
como requisito parcial para
participação na feira.

Campinas/SP

2025

DEDICATÓRIA

Oferecemos este trabalho à Deus,
aos nossos pais pelo apoio moral e financeiro,
aos professores Regina e Marcelus,
pela orientação do projeto e pelo acompanhamento
da evolução ao longo do curso.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente aos nossos familiares, pelo apoio financeiro, incentivo e compreensão ao longo de todo o desenvolvimento do projeto. Manifestamos também nossa gratidão aos professores Regina e Marcelus, orientadores dedicados que contribuíram com conhecimento, orientação e apoio constante em cada etapa deste trabalho. Estendemos ainda nossos agradecimentos à ETEC Bento Quirino, instituição que fomentou e possibilitou a realização do Óptica 3.0, oferecendo os recursos e a base necessária para sua concretização.

RESUMO

O projeto Óptica 3.0 foi desenvolvido com o objetivo de criar um protótipo de dispositivo portátil e de baixo custo, capaz de capturar textos impressos e convertê-los em áudio, a fim de promover maior autonomia e inclusão social para pessoas analfabetas ou com severas dificuldades de leitura. Para tanto, adotou-se o método de engenharia, estruturado em etapas que envolveram a identificação do problema, a definição dos requisitos técnicos, a seleção e integração de componentes e a implementação do software de processamento. O protótipo foi construído a partir do microcontrolador Raspberry Pi Zero, integrado a um módulo de câmera, um amplificador de áudio PAM8403 com alto-falante e um laser diodo vermelho, todos alocados em um case projetado e impresso em 3D. O dispositivo incorporou três acionadores físicos — chave geral, interruptor do laser e botão de captura — que garantem controle intuitivo ao usuário. No campo do software, foram utilizadas bibliotecas de código aberto, incluindo Tesseract OCR, para reconhecimento de caracteres, OpenCV, para pré-processamento das imagens, e eSpeak-NG, para a conversão do texto em fala. Os testes técnicos preliminares realizados em ambiente controlado demonstraram a viabilidade funcional do sistema, permitindo a captura de textos impressos e sua conversão em áudio inteligível, ainda que com limitações relacionadas à iluminação e à qualidade de impressão. A etapa social, prevista para avaliação com usuários analfabetos, não foi concretizada dentro do cronograma, permanecendo restrita a uma abordagem teórica, que discutiu potenciais aplicações cotidianas, como leitura de rótulos, placas e panfletos, bem como os cuidados éticos necessários para a realização futura de testes em campo. Os resultados obtidos indicam que o Óptica 3.0 representa uma solução tecnicamente viável, com potencial de impacto social relevante, ao oferecer uma alternativa acessível em relação a dispositivos comerciais de alto custo e ao uso de smartphones, muitas vezes inacessíveis ao público-alvo. Conclui-se que o protótipo constitui uma base sólida para aprimoramentos futuros, tanto no desempenho técnico quanto na validação social, reforçando seu caráter como ferramenta de acessibilidade e inclusão.

Palavras-chave: Visão computacional; OCR; TTS; Inclusão social; Acessibilidade.

ABSTRACT

The Óptica 3.0 project was developed with the objective of creating a portable and low-cost prototype device capable of capturing printed texts and converting them into audio, in order to promote greater autonomy and social inclusion for illiterate individuals or those with severe reading difficulties. To this end, the engineering method was adopted, structured in stages involving problem identification, definition of technical requirements, selection and integration of components, and implementation of the processing software. The prototype was built using a Raspberry Pi Zero microcontroller, integrated with a camera module, a PAM8403 audio amplifier with a speaker, and a red diode laser, all assembled in a 3D-printed case. The device incorporated three physical controls — a main power switch, a laser switch, and a capture button — ensuring intuitive operation for the user. In terms of software, open-source libraries were used, including Tesseract OCR for character recognition, OpenCV for image pre-processing, and eSpeak-NG for text-to-speech conversion. Preliminary technical tests carried out in a controlled environment demonstrated the functional feasibility of the system, allowing the capture of printed texts and their conversion into intelligible audio, although with limitations related to lighting and print quality. The social validation stage, planned to involve illiterate users, was not carried out within the project schedule and therefore remained theoretical, discussing potential everyday applications such as reading labels, signs, and pamphlets, as well as the ethical considerations necessary for future field testing. The results indicate that Óptica 3.0 represents a technically feasible solution with significant social impact potential, offering an accessible alternative to high-cost commercial devices and to smartphones, which are often unsuitable for the target audience. It is concluded that the prototype constitutes a solid basis for future improvements, both in technical performance and social validation, reinforcing its role as a tool for accessibility and inclusion.

Keywords: Computer vision; OCR; TTS; Social inclusion; Accessibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gráfico de série histórica do analfabetismo no Brasil (1940–2022).....	12
Figura 2 – Taxa de alfabetismo e analfabetismo no Brasil por região).....	13
Figura 3 – Taxa de analfabetismo por cor/raça).....	14
Figura 4 – Taxa de analfabetismo por faixa etária.....;;.....	16
Figura 5 – Diagrama: Analfabetismo, menor acesso digital, menos oportunidades de inserção social/econômica, perpetuação da exclusão.....	20
Figura 6 – Fluxo simplificado do OCR.....	38
Figura 7 – Cronograma parte 1.....	50
Figura 8 – Cronograma parte 2.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EJA – Educação de Jovens e Adultos

GPIO – General Purpose Input/Output (Entradas e Saídas de Propósito Geral)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INAF – Indicador de Alfabetismo Funcional

LED – Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)

OCR – Optical Character Recognition (Reconhecimento Óptico de Caracteres)

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU – Organização das Nações Unidas

PAM8403 – Amplificador de áudio estéreo de 3W baseado em circuito integrado

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

TTS – Text-to-Speech (Conversão de Texto em Fala)

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

USB – Universal Serial Bus

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Porcentagem

nm – Nanômetro

Ω – Ohm (unidade de resistência elétrica)

V – Volt (unidade de tensão elétrica)

W – Watt (unidade de potência)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1. Cenário do analfabetismo no Brasil.....	12
1.1.1. Estatísticas históricas.....	16
1.1.2. Impactos sociais e econômicos.....	18
1.1.3. Relação com exclusão digital.....	19
1.2. Legislação e políticas públicas.....	21
1.2.1. Programas de alfabetização.....	22
1.2.2. Lacunas e limites das ações governamentais.....	23
1.2.3. Relevância de soluções paralelas e complementares.....	24
2. JUSTIFICATIVA.....	26
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	28
3.1. O analfabetismo como fenômeno social.....	30
3.1.1. Contribuições de Paulo Freire e autores contemporâneos.....	31
3.1.2. Analfabetismo funcional vs. absoluto.....	32
3.2. Tecnologias assistivas.....	34
3.2.1. Histórico de soluções para inclusão.....	34
3.2.2. Experiências internacionais.....	35
3.3. Fundamentos técnicos.....	36
3.3.1. Reconhecimento Óptico de Caracteres.....	38
3.3.2. Conversão de texto em fala.....	39
3.3.3. Microcontroladores e visão computacional de baixo custo.....	41
3.3.4. Visores e Lasers.....	42
3.3.4.1. Laser trabalhado.....	44
4. OBJETIVOS.....	46
4.1. Geral.....	46
4.1.1. Específicos.....	46
5. METODOLOGIA.....	47
5.1. Materiais.....	47
5.2. Método.....	48
5.3. Procedimentos Técnicos.....	48
5.4. Procedimentos Sociais.....	49
5.5. Custos.....	50
5.6. Cronograma.....	51

6. RESULTADOS ESPERADOS.....	52
7. RESULTADOS OBTIDOS.....	53
8. Considerações Finais.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos progressos educacionais registrados nas últimas décadas, o analfabetismo — em suas formas absoluta e funcional — permanece como um problema social persistente no Brasil, com implicações profundas sobre a autonomia individual e a participação cidadã. Dados oficiais indicam que, segundo o Censo Demográfico de 2022, cerca de 7% da população com 15 anos ou mais não sabe ler ou escrever frases simples; paralelamente, indicadores mais recentes de alfabetismo funcional apontam para proporções substanciais de adultos com limitações na compreensão e uso da escrita em contextos cotidianos. Esses números revelam não apenas um problema educacional, mas um fenômeno estrutural que atravessa dimensões econômicas, regionais e etárias do país.

As consequências do analfabetismo extrapolam o domínio estritamente individual: afetam a segurança no consumo de medicamentos, a capacidade de acesso e fruição de serviços públicos e privados, as possibilidades de inserção no mercado de trabalho e a efetiva participação política. Ademais, observa-se uma sobreposição com formas de exclusão digital — uma parcela significativa da população mais vulnerável não dispõe de dispositivos ou conectividade adequada — o que agrava a condição de desvantagem em relação ao fluxo informacional dominante. Esse arranjo de múltiplas vulnerabilidades reforça a necessidade de intervenções que atuem simultaneamente sobre dimensões tecnológicas, sociais e educativas.

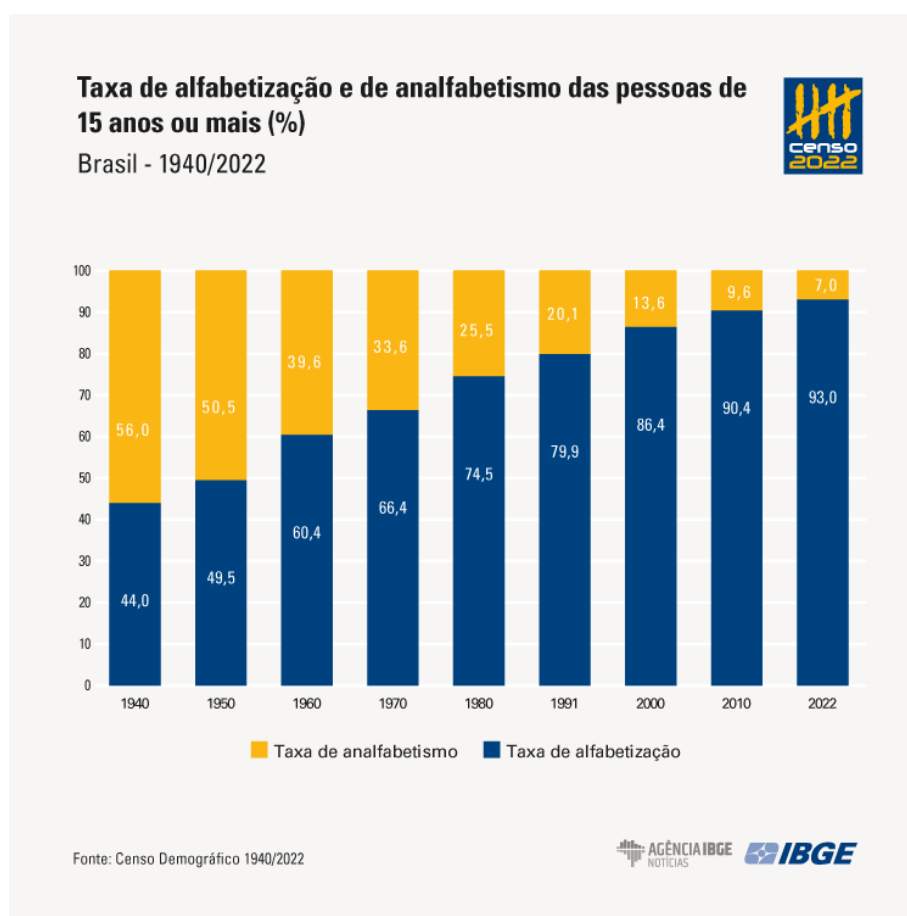
As desigualdades são também geográficas e demográficas: taxas de analfabetismo apresentam distribuição heterogênea entre regiões (com concentrações mais elevadas em determinadas áreas), e manifestam vieses por grupo etário e condição socioeconômica. Essas variações demandam soluções que sejam sensíveis ao contexto — tanto em termos de usabilidade quanto de custo e logística de implementação — e que possam complementar políticas públicas dirigidas à alfabetização formal.

É nesse contexto que se insere o presente projeto. Denominado Óptica 3.0, o trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo portátil de baixo custo que integra captura de imagem, processamento por reconhecimento óptico de caracteres (OCR) e conversão texto-fala (TTS), com o objetivo de prover leitura oral imediata de textos impressos e, assim, aumentar a autonomia informacional de pessoas analfabetas ou com severas dificuldades de leitura. A concepção técnica privilegia componentes acessíveis (por exemplo, Raspberry Pi Zero e módulos de câmera) e bibliotecas de código aberto (como Tesseract para OCR e alternativas de TTS aptas a operar offline), de modo a reduzir barreiras econômicas e dependência de conectividade. Em sua inspiração e justificativa, o protótipo se difere de soluções comerciais de alto custo que desempenham funções análogas, por priorizar viabilidade de produção local e sustentabilidade conceitual.

1.1. Cenário do analfabetismo no Brasil

O analfabetismo constitui um dos principais indicadores das desigualdades sociais brasileiras e permanece como um desafio estrutural, mesmo após sucessivas políticas públicas de expansão educacional. De acordo com o Censo Demográfico de 2022, 7,0% da população com 15 anos ou mais não sabe ler nem escrever um bilhete simples, o que representa cerca de 11 milhões de pessoas no país (IBGE, 2022). Embora esse número seja inferior aos 9,6% registrados em 2010, a redução foi de apenas 2,6 pontos percentuais em doze anos, evidenciando um processo de desaceleração histórica na queda da taxa de analfabetismo

Figura 1 - Gráfico de série histórica do analfabetismo no Brasil (1940-2022)



Fonte: IBGE, 2024

As desigualdades regionais tornam esse cenário ainda mais complexo. O Nordeste concentra quase o dobro da taxa nacional, chegando a 13,9% em 2022, enquanto as regiões Sul e Sudeste apresentam percentuais em torno de 3%

. O recorte por cor/raça mostra que pessoas pretas ou pardas têm taxa de analfabetismo de 7,4%, mais que o dobro da registrada entre brancos (3,4%).

Figura 2 - Taxa de alfabetismo e analfabetismo no Brasil por região

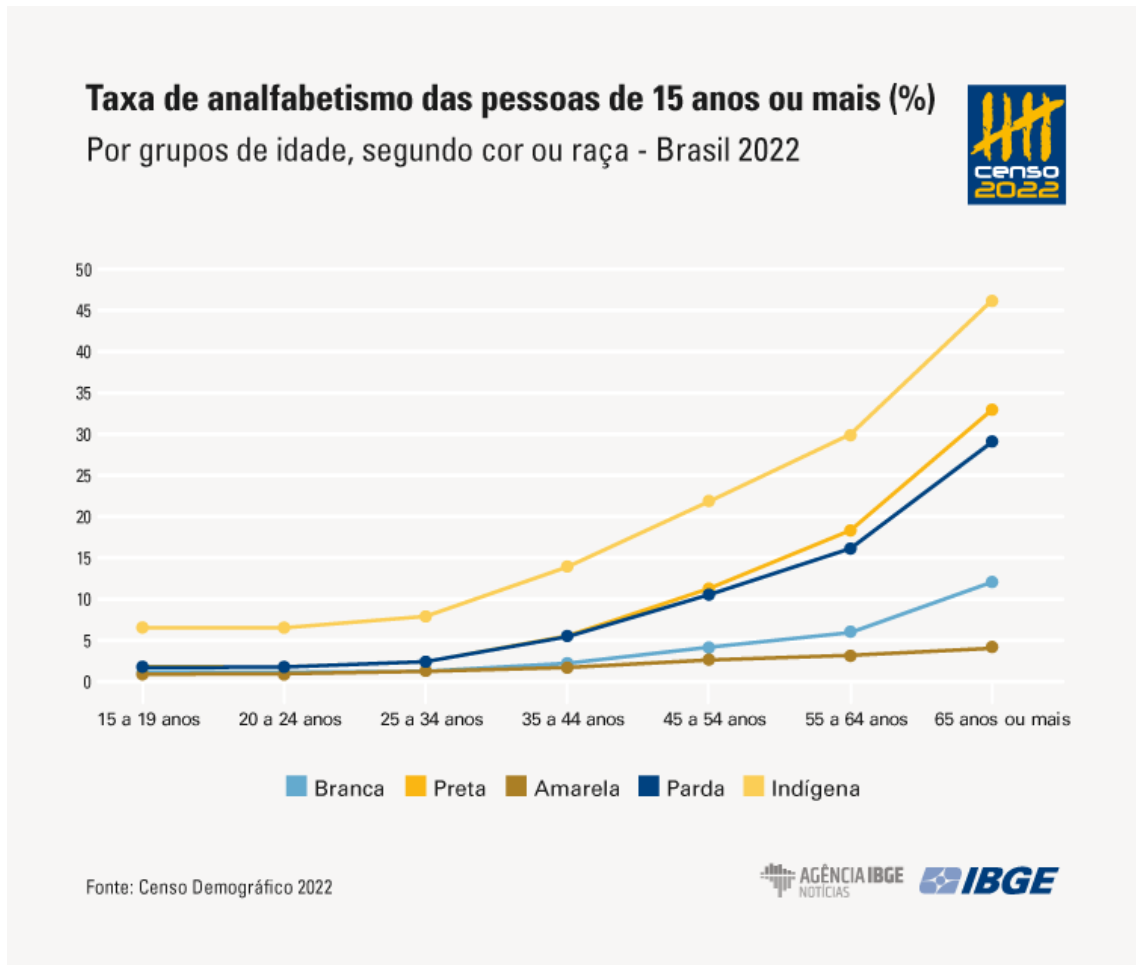
Taxa de alfabetização das pessoas de 15 anos ou mais, no Brasil (%)

por Grandes Regiões e Unidades da Federação, em 2010 e 2022



Fonte: IBGE EDUCA

Figura 3 - Taxa de analfabetismo por cor/raça



Fonte: IBGE, 2024

No que se refere ao analfabetismo funcional, os dados mais recentes do Indicador de Alfabetismo Funcional (INAF, 2024) apontam que 30% da população brasileira entre 15 e 64 anos possui níveis insuficientes de letramento — classificados entre “analfabeto” e “rudimentar”. Isso significa que, embora essas pessoas consigam identificar letras ou palavras isoladas, enfrentam grandes dificuldades em interpretar frases ou textos mais elaborados. Na tabela 1, é mostrado o índice de analfabetismo ao decorrer dos anos 2001 até 2024.

Tabela 1 - Índice dos 3 níveis de analfabetismo e alfabetismo no Brasil

Níveis	2001- 2002 (%)	2002- 2003 (%)	2003-2004 (%)	2004-2005 (%)	2007 (%)	2009 (%)	2011 (%)	2015 (%)	2018 (%)	2024 (%)
Analfabetos funcionais	39,35	38,9	37,28136	36,66334	34,26573	26,92308	27,12288	27,22278	29,37%	29,35%
Elementar	28	29	29,93503	30,86913	32,31768	35,06494	36,71329	42,10789	34,37%	35,81%
Alfabetismo consolidado	32,65	32,1	32,78361	32,46753	33,41658	38,01199	36,16384	30,66933	36,26%	34,84%
Base	2000	2000	2001	2002	2002	2002	2002	2002	2002	2480

Fonte: INAF, 2024

As desigualdades também se evidenciam quando os dados do INAF são cruzados com escolaridade. Entre aqueles que concluíram apenas até o 5º ano do Ensino Fundamental, 77% são analfabetos e 26% estão no nível rudimentar. Já entre indivíduos com Ensino Médio completo, 6% permanecem analfabetos e 38% atingem o nível proficiente. Esse contraste demonstra como a baixa escolarização perpetua déficits de leitura e escrita ao longo da vida. Na tabela 2, é mostrado os diferentes níveis do alfabetismo baseado na escolaridade

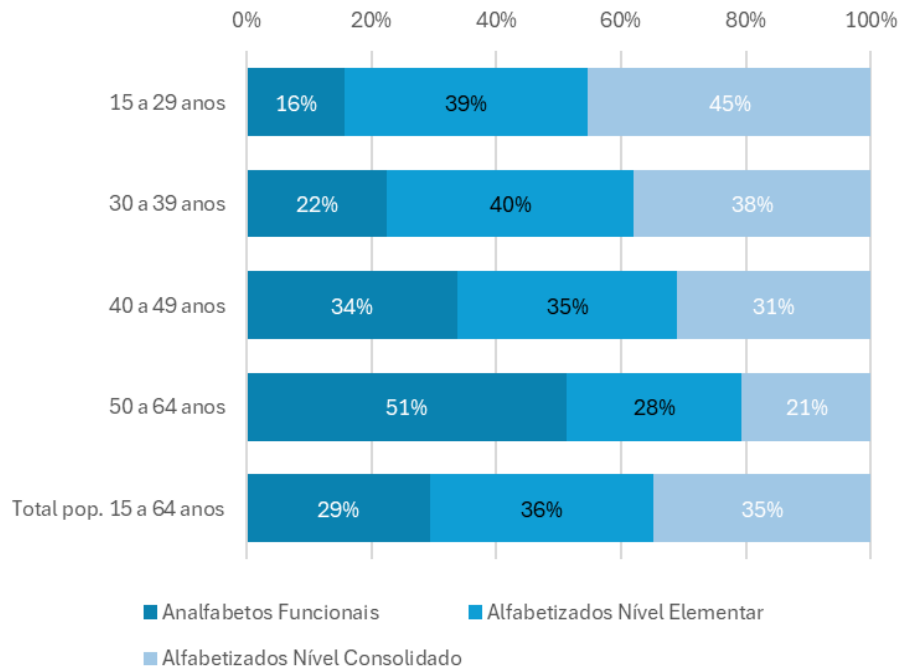
Tabela 2 - Nível de alfabetismo por escolaridade completa

	Analfabeto	Rudimentar	Elementar	Intermediário	Proficiente	Total população 15 a 64 anos
Até 5º do EF	77%	26%	6%	1%	2%	14%
6º ao 9º do EF	15%	31%	21%	11%	5%	19%
Ensino Médio	6%	31%	56%	52%	38%	44%
Ensino Superior	2%	12%	18%	36%	54%	24%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: INAF, 2024

Outro dado relevante é a relação entre analfabetismo e faixa etária. O INAF mostra que as taxas de analfabetismo funcional são significativamente mais altas entre pessoas mais velhas, refletindo a exclusão educacional histórica vivida por gerações anteriores. Enquanto entre jovens de 15 a 24 anos predominam níveis intermediários e proficientes, entre adultos com 55 a 64 anos há maior concentração nos níveis analfabeto e rudimentar.

Figura 4 - Taxa de analfabetismo por faixa etária



Fonte: INAF, 2024

Em síntese, o Brasil enfrenta uma dupla problemática: de um lado, o analfabetismo absoluto, ainda persistente em milhões de pessoas; de outro, o analfabetismo funcional, que atinge aproximadamente um terço da população em idade ativa. Esse quadro compromete o exercício pleno da cidadania, limita o acesso a direitos básicos e reforça ciclos de desigualdade econômica, social e digital, evidenciando a urgência de estratégias que combinem políticas de alfabetização formal com iniciativas de inclusão tecnológica.

1.1.1. Estatísticas históricas

A trajetória do analfabetismo no Brasil revela avanços expressivos ao longo do século XX, mas também uma desaceleração nos últimos anos que evidencia as limitações das políticas educacionais em curso. Em 1940, mais da metade da população brasileira com 15 anos ou mais era analfabeta — cerca de 56% segundo o Censo Demográfico do IBGE. Desde então, sucessivos programas de expansão

escolar e políticas públicas reduziram esse percentual de forma contínua, alcançando 7,0% em 2022, o equivalente a 11 milhões de pessoas.

Embora o recuo ao longo das décadas seja notável, a análise mais recente evidencia um quadro de desaceleração. Entre 2010 e 2022, a taxa caiu apenas 2,6 pontos percentuais, de 9,6% para 7,0%. Essa estagnação contrasta com períodos anteriores, como as décadas de 1970 e 1980, quando a universalização do acesso ao ensino fundamental provocou quedas mais acentuadas.

Outro aspecto importante é que, apesar da redução do analfabetismo absoluto, persiste uma proporção elevada de analfabetismo funcional. Segundo o INAF 2024, 30% da população entre 15 e 64 anos não possui domínio suficiente da leitura e da escrita para interpretar textos em situações cotidianas. Essa persistência indica que a ampliação do acesso escolar, embora fundamental, não foi suficiente para garantir a plena alfabetização funcional da população. Na tabela 3, é visualizado o nível de alfabetismo por faixa etária.

Tabela 3 - Níveis de Alfabetismo por faixa etária

Níveis de Alfabetismo	Total população 15 a 64 anos	15 a 29 anos	30 a 39 anos	40 a 49 anos	50 a 64 anos
Analfabeto	7%	2%	3%	9%	16%
Rudimentar	22%	14%	20%	24%	35%
Elementar	36%	39%	40%	35%	28%
Intermediário	25%	32%	26%	24%	13%
Proficiente	10%	13%	12%	7%	7%
Total	100%	100%	100%	100%	100%
Bases	2480	810	568	518	584

Fonte: INAF, 2024

As estatísticas históricas também demonstram que o analfabetismo não é homogêneo no território brasileiro. A PNAD Contínua revela que as taxas permanecem mais elevadas nas regiões Nordeste e Norte, enquanto Sul e Sudeste já se aproximam de patamares de países desenvolvidos. Essas desigualdades regionais se sobrepõem a recortes por faixa etária, raça/cor e renda, o que reforça o caráter estrutural do problema.

Portanto, as estatísticas históricas evidenciam um paradoxo: de um lado, um avanço considerável ao longo de quase um século; de outro, uma estagnação nos

últimos anos, que mantém milhões de brasileiros à margem do letramento pleno e da cidadania. Essa constatação justifica a busca por soluções complementares — como dispositivos assistivos de leitura — que possam mitigar, ainda que parcialmente, os efeitos da exclusão educacional.

1.1.2. Impactos sociais e econômicos.

O analfabetismo, em suas dimensões absoluta e funcional, gera efeitos que extrapolam a esfera individual, repercutindo de maneira significativa sobre a vida social, a economia e a própria consolidação democrática do país. Do ponto de vista social, a ausência do domínio da leitura e da escrita limita o acesso a direitos básicos, como a compreensão de documentos oficiais, contratos, bulas de medicamentos ou mesmo orientações em serviços de saúde. Essa limitação cotidiana aumenta a dependência de terceiros, reduz a autonomia e fragiliza a cidadania plena.

Além disso, o analfabetismo compromete a inserção no mercado de trabalho. Trabalhadores com baixo ou nenhum grau de escolaridade enfrentam maiores dificuldades de empregabilidade, restrição a ocupações de baixa remuneração e alta rotatividade, além de reduzidas oportunidades de ascensão profissional. Estudos sobre mercado de trabalho demonstram que o rendimento médio de analfabetos é sistematicamente inferior ao dos alfabetizados, o que aprofunda desigualdades de renda e perpetua ciclos de pobreza intergeracional.¹

O impacto econômico, entretanto, não se restringe ao indivíduo. Do ponto de vista macroeconômico, o analfabetismo reduz a produtividade da força de trabalho, dificulta a modernização tecnológica em setores produtivos e limita a competitividade do país em escala global. Estimativas de organismos internacionais, como a UNESCO e a OCDE, apontam que o déficit educacional de uma nação compromete diretamente sua capacidade de crescimento sustentável, já que trabalhadores com baixa

¹ De acordo com a PNAD Contínua (IBGE, 2022), as taxas de analfabetismo são significativamente mais altas entre pessoas pretas e pardas (7,4%) em comparação às pessoas brancas (3,4%). Esse dado dialoga com as estatísticas de renda, que apontam que pretos e pardos apresentam rendimentos médios inferiores em relação aos brancos, revelando como a exclusão educacional e a desigualdade econômica se reforçam mutuamente.

escolarização têm menor potencial de inovação e adaptação a novas demandas do mercado.

Sob a perspectiva da inclusão social, o analfabetismo reforça a exclusão digital: sem competências básicas de leitura e escrita, o acesso às tecnologias digitais torna-se restrito, perpetuando a marginalização em um contexto de crescente digitalização da economia e dos serviços públicos. A dificuldade de navegar em interfaces digitais, preencher formulários eletrônicos ou interpretar conteúdos online intensifica a vulnerabilidade de milhões de brasileiros diante da sociedade da informação.

O Secretário-Geral da ONU, Ban Ki-moon, afirmou que, apesar dos progressos, o analfabetismo continua a afligir milhões de pessoas, especialmente mulheres e meninas. Em 2009, cerca de dois terços dos estimados 793 milhões de adultos analfabetos no planeta eram do sexo feminino. Nesse mesmo ano, cerca de 67 milhões de crianças em idade escolar primária e 72 milhões tiveram negado seu direito à educação. “O analfabetismo exacerba os ciclos de problemas de saúde, pobreza e privação. Ele enfraquece as comunidades e mina os processos democráticos através da marginalização e da exclusão”, disse o Secretário-Geral. (ALFABETIZAÇÃO É VITAL PARA SUPERAR POBREZA..., 2011)

Em síntese, os impactos sociais e econômicos do analfabetismo são multidimensionais: reduzem a autonomia individual, restringem oportunidades laborais, perpetuam desigualdades estruturais e comprometem o desenvolvimento econômico nacional. A erradicação dessa condição, portanto, não deve ser entendida apenas como uma meta educacional, mas como um imperativo social e econômico de longo alcance.

1.1.3. Relação com exclusão digital.

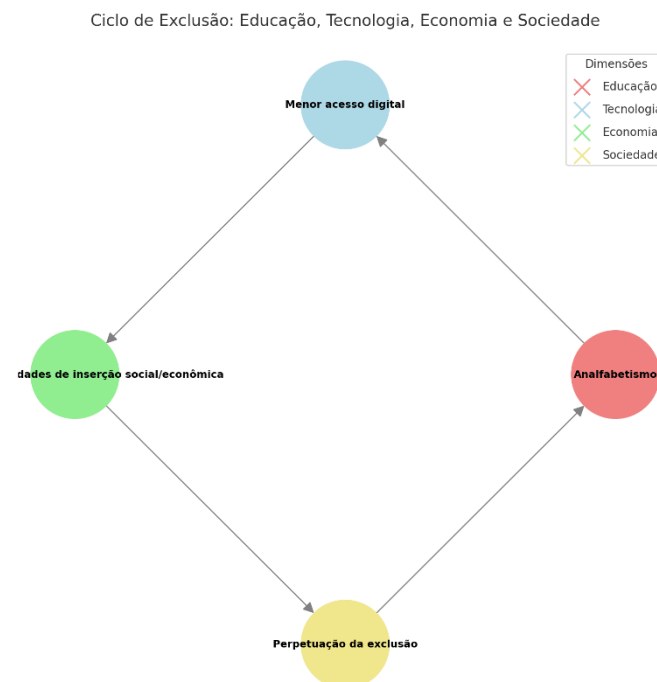
O analfabetismo, em suas formas absoluta e funcional, conecta-se diretamente à exclusão digital, fenômeno cada vez mais relevante em uma sociedade estruturada pela informação e pelas tecnologias digitais. No Brasil, ainda que a difusão de

smartphones e o acesso à internet tenham se expandido significativamente na última década, a posse de dispositivos e a qualidade da conectividade não são universais. Segundo o IBGE (2022), cerca de 10% da população com 10 anos ou mais não possui telefone celular, proporção que cresce em grupos de menor renda e em regiões mais vulneráveis, como o Norte e o Nordeste.

A ausência de competências básicas de leitura e escrita intensifica essa exclusão digital. Para milhões de brasileiros analfabetos ou com alfabetismo funcional limitado, a mera posse de um dispositivo não se traduz em autonomia no uso. Atividades cotidianas como interpretar uma mensagem de texto, preencher formulários eletrônicos, realizar transações bancárias ou acessar serviços públicos digitais exigem níveis mínimos de letramento. Nesse sentido, o analfabetismo atua como uma barreira invisível que limita a apropriação social das tecnologias, perpetuando desigualdades.

Do ponto de vista social, essa sobreposição de exclusões — educacional e digital — gera um círculo vicioso: os grupos mais atingidos pelo analfabetismo são também aqueles com menor acesso à internet e menor inserção no mercado de trabalho, o que reduz as oportunidades de superar suas condições iniciais. A literatura contemporânea sobre sociedade da informação (CASTELLS, 2003) reforça esse diagnóstico, ao destacar que a exclusão digital não é apenas tecnológica, mas social, política e cultural.

Figura 5 - Diagrama: Analfabetismo, Menor acesso digital, Menos oportunidades de inserção social/econômica, Perpetuação da exclusão



Fonte: Elaborada pelo Autor

Portanto, compreender o analfabetismo no Brasil requer integrá-lo ao debate sobre inclusão digital. Não se trata apenas de garantir dispositivos e conectividade, mas também de assegurar condições de uso efetivo das tecnologias, o que passa pelo domínio da leitura e da escrita. Nesse contexto, soluções paralelas, como dispositivos assistivos capazes de traduzir texto escrito em áudio, podem atuar como ferramentas de mediação imediata, mitigando parcialmente os efeitos da exclusão digital enquanto as políticas estruturais de alfabetização não atingem toda a população.

1.2. Legislação e políticas públicas

A Constituição Federal de 1988 estabelece, em seu artigo 205, que a educação é direito de todos e dever do Estado e da família, devendo ser promovida e incentivada com a colaboração da sociedade. Além disso, o artigo 208, inciso I, garante a educação básica obrigatória e gratuita, dos 4 aos 17 anos, e sua oferta gratuita para todos os que a ela não tiveram acesso na idade própria. Essas disposições constitucionais fundamentam as ações governamentais voltadas à alfabetização de

jovens e adultos, reconhecendo que a ausência dessa competência compromete não apenas o exercício da cidadania, mas também o acesso a direitos sociais básicos. Complementarmente, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei nº 9.394/1996) regulamenta a oferta de programas e modalidades específicas de ensino, como a Educação de Jovens e Adultos (EJA), destacando o compromisso do poder público em garantir oportunidades de aprendizado a quem não pôde frequentar a escola em idade adequada.

1.2.1. Programas de alfabetização

A Educação de Jovens e Adultos (EJA) é uma modalidade prevista na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996), que assegura o direito de quem não concluiu os estudos na idade adequada. Sua criação reflete a compreensão de que o direito à educação é permanente e não se esgota com o avanço da idade, sendo, portanto, um instrumento fundamental de justiça social. A EJA foi pensada para atender a trabalhadores que conciliam emprego, família e estudo, por isso seus currículos são mais flexíveis e seus horários adaptados.

Apesar disso, a modalidade enfrenta inúmeros desafios estruturais. A evasão escolar é alta, com taxas que em alguns estados ultrapassam 50% antes da conclusão do curso. Essa desistência se explica não apenas pela dificuldade de conciliação com as demandas da vida adulta, mas também pela desmotivação gerada por metodologias pouco interativas ou desconectadas da realidade concreta do aluno. Faltam professores especializados, materiais pedagógicos pensados para adultos e acompanhamento adequado para evitar a repetência. Assim, a EJA, ainda que seja uma política fundamental, não tem conseguido reverter os índices nacionais de analfabetismo.

No início dos anos 2000, uma iniciativa complementar ganhou destaque: o Programa Brasil Alfabetizado (PBA). Instituído em 2003, o programa buscava erradicar o analfabetismo absoluto no país, com foco em jovens acima de 15 anos, adultos e idosos. O PBA contou com parcerias entre o governo federal, estados, municípios e organizações da sociedade civil, além de incentivos à formação de alfabetizadores. Houve resultados expressivos: milhões de brasileiros participaram das turmas e tiveram acesso a práticas básicas de leitura e escrita. No entanto, a

ausência de continuidade entre a alfabetização inicial e o prosseguimento nos estudos comprometeu a eficácia de longo prazo. Muitos alunos alfabetizados retornaram à condição de analfabetos funcionais por falta de acompanhamento, revelando que a alfabetização precisa ser um processo contínuo e articulado com o sistema educacional.

A interrupção do programa em 2016 expôs ainda mais a fragilidade das políticas educacionais brasileiras: a cada nova gestão política, iniciativas são encerradas ou remodeladas, prejudicando a consistência das ações. Com isso, tanto a EJA quanto o extinto Brasil Alfabetizado exemplificam como políticas públicas relevantes podem falhar em alcançar seus objetivos diante da ausência de estratégias integradas e sustentáveis.

1.2.2. Lacunas e limites das ações governamentais.

Apesar da importância das legislações e programas, o analfabetismo no Brasil se mantém como problema estrutural. Isso se deve, em grande parte, a lacunas persistentes nas políticas públicas. Uma das principais limitações está na descontinuidade administrativa: a cada troca de governo, programas são encerrados ou remodelados sem transição adequada, o que impede o amadurecimento de estratégias de longo prazo. O caso do Brasil Alfabetizado é exemplar nesse sentido.

Outro ponto crítico é a desigualdade regional. Enquanto em estados do Sul e Sudeste o analfabetismo absoluto está próximo de 3%, no Nordeste ele chega a 14% em algumas localidades. Essa disparidade reflete não apenas falhas educacionais, mas também desigualdades históricas em infraestrutura, renda e acesso a políticas públicas. A concentração de analfabetos em áreas rurais e entre a população mais pobre reforça a relação direta entre exclusão educacional e vulnerabilidade social.

Além disso, o financiamento irregular compromete a efetividade das ações. Muitos municípios carecem de recursos para manter turmas da EJA ou oferecer formação adequada a professores. Sem investimento contínuo, os programas tornam-se paliativos, incapazes de provocar mudanças significativas. Soma-se a isso o problema da evasão escolar, intensificado por currículos pouco adaptados à realidade

dos adultos. Sem metodologias específicas e materiais adequados, muitos estudantes desistem, perpetuando o ciclo do analfabetismo.

Outro limite é que as políticas de alfabetização raramente dialogam com a inclusão digital, que hoje é indispensável para a vida em sociedade. A alfabetização não pode se restringir ao domínio da escrita manual: ela deve incluir o uso crítico de tecnologias, interpretação de interfaces digitais e navegação em ambientes virtuais. Como esse aspecto é pouco considerado, cria-se um hiato entre a alfabetização formal e a demanda real da sociedade contemporânea, em que grande parte dos serviços básicos já migrou para o meio digital.

1.2.3. Relevância de soluções paralelas e complementares.

Nesse contexto de limitações estruturais, ganham relevância as soluções paralelas e complementares, que surgem frequentemente de iniciativas comunitárias, acadêmicas e tecnológicas. Essas soluções não têm a pretensão de substituir a alfabetização formal, mas sim de oferecer recursos imediatos de inclusão para quem vive à margem do acesso pleno à leitura e à escrita.

O Óptica 3.0 se insere justamente nessa lógica. Ao propor um dispositivo portátil e de baixo custo, baseado em tecnologias acessíveis como Raspberry Pi e bibliotecas livres de OCR e TTS, o projeto se coloca como uma resposta prática às lacunas das políticas públicas. Diferentemente de soluções comerciais elitizadas, como o OrCam MyEye, cujo valor ultrapassa sessenta mil reais, o protótipo busca estar ao alcance da população que mais necessita, justamente aquela excluída pelos altos custos do mercado tecnológico.

Além disso, soluções paralelas têm o mérito de dialogar com o cotidiano real da população. Enquanto programas governamentais muitas vezes falham em se adaptar às especificidades de cada comunidade, iniciativas locais ou acadêmicas podem ser desenhadas para atender demandas concretas: ler rótulos de medicamentos, interpretar placas de ônibus, compreender comunicados em serviços públicos. Essa dimensão prática aumenta a eficácia e o impacto social.

Outro aspecto importante é a construção da autoestima e da autonomia dos indivíduos. Quando uma pessoa analfabeta consegue acessar informações sozinha,

mesmo sem dominar a leitura convencional, experimenta uma forma de liberdade que reduz a dependência de familiares ou terceiros. Essa autonomia tem reflexos diretos na inserção social, no exercício da cidadania e até na busca futura pela escolarização formal.

Por fim, soluções complementares também funcionam como catalisadores de políticas públicas. Projetos acadêmicos bem-sucedidos podem inspirar ações governamentais ou servir como base para parcerias com ONGs, secretarias de educação e instituições de inclusão social. Nesse sentido, o Óptica 3.0 não é apenas um protótipo, mas um exemplo de como a inovação tecnológica pode estar a serviço da democracia do conhecimento, colaborando para a construção de uma sociedade mais justa e inclusiva.

2. JUSTIFICATIVA

O analfabetismo, em suas múltiplas dimensões, permanece como um dos principais entraves para o desenvolvimento social e econômico do Brasil. Embora o direito à educação esteja assegurado pela Constituição Federal de 1988 e reforçado por legislações específicas, como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), a realidade revela que milhões de brasileiros ainda não conseguem exercer plenamente esse direito. Segundo o Censo Demográfico de 2022, aproximadamente 7% da população com 15 anos ou mais é analfabeta absoluta, ou seja, incapaz de ler e escrever frases simples. Esse dado, por si só, já denuncia a persistência de uma exclusão histórica. Entretanto, o problema é ainda mais grave quando se observa o analfabetismo funcional: de acordo com o Indicador de Alfabetismo Funcional (INAF, 2025), 29% dos brasileiros entre 15 e 64 anos não dominam as habilidades necessárias para compreender e utilizar informações escritas em situações cotidianas. Esse índice, praticamente estagnado desde 2018, revela a dificuldade do país em avançar de forma consistente.

Os impactos dessa realidade são profundos e atravessam diferentes esferas da vida social. Pessoas em situação de analfabetismo enfrentam barreiras diárias que limitam seu acesso à saúde, ao trabalho, à justiça e à cidadania. A simples leitura de um rótulo de medicamento, a interpretação de uma placa de ônibus ou a assinatura de um documento tornam-se desafios que restringem a autonomia individual e aumentam a dependência de terceiros. Essa condição de vulnerabilidade se agrava quando combinada à exclusão digital, que impede grande parte da população de acessar serviços e informações essenciais, cada vez mais disponíveis apenas em plataformas virtuais.

Apesar da existência de políticas públicas voltadas à alfabetização de jovens e adultos, como a Educação de Jovens e Adultos (EJA) e o extinto Programa Brasil Alfabetizado, os resultados ainda estão aquém do necessário. A descontinuidade administrativa, o financiamento insuficiente e a falta de metodologias adaptadas à realidade dos alunos adultos resultam em altos índices de evasão escolar e na perpetuação do ciclo de exclusão. O próprio INAF demonstra que, em seis anos, não houve redução significativa no número de analfabetos funcionais, evidenciando uma falha estrutural na capacidade do Estado de enfrentar o problema de forma eficaz.

Diante desse cenário, a justificativa para o desenvolvimento do projeto Óptica 3.0 é dupla. Por um lado, o dispositivo busca responder a uma demanda imediata: oferecer a pessoas analfabetas ou com dificuldades severas de leitura uma ferramenta prática que lhes permita interagir com o mundo escrito de maneira mais autônoma. Por outro lado, o projeto assume um caráter social e político ao demonstrar que a tecnologia pode — e deve — ser acessível, inclusiva e orientada para as necessidades da população mais vulnerável.

Soluções comerciais existentes, como o OrCam MyEye, comprovam que a integração entre reconhecimento óptico de caracteres (OCR) e sistemas de conversão de texto em fala (TTS) é viável e funcional. No entanto, o custo elevado de cerca de sessenta mil reais inviabiliza seu acesso pela maioria dos brasileiros. Nesse sentido, o Óptica 3.0 se destaca por propor uma alternativa de baixo custo, baseada em hardware acessível (como o Raspberry Pi Zero) e softwares livres (como o Tesseract OCR e o eSpeak-NG), adaptada às condições socioeconômicas da população brasileira.

Mais do que um aparato tecnológico, o projeto representa uma iniciativa de inclusão social. Ele não substitui a alfabetização formal, mas oferece uma ponte de autonomia que pode transformar o cotidiano dos usuários, reduzir a dependência de terceiros, fortalecer a autoestima e ampliar a cidadania. Além disso, ao ser desenvolvido em ambiente acadêmico e com foco em tecnologias abertas, o projeto pode inspirar futuras políticas públicas, servir de base para parcerias com organizações da sociedade civil e estimular novas pesquisas na área de tecnologia assistiva.

Assim, a justificativa do Óptica 3.0 não se limita ao enfrentamento do analfabetismo como problema educacional, mas o reconhece como fenômeno multidimensional, que exige soluções complementares e inovadoras. Ao colocar a ciência e a tecnologia a serviço da inclusão, o projeto reafirma que combater a exclusão social é também democratizar o acesso à informação em todas as suas formas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho busca articular duas dimensões centrais: a primeira, de natureza social e educacional, diz respeito ao analfabetismo como fenômeno persistente da realidade brasileira, não apenas enquanto ausência da habilidade técnica de ler e escrever, mas como um fator de exclusão social, política e econômica; a segunda, de caráter tecnológico, relaciona-se ao papel das inovações em tecnologias assistivas, capazes de mitigar, ainda que parcialmente, os impactos desse cenário.

O analfabetismo, absoluto ou funcional, não pode ser compreendido de forma isolada, como se fosse apenas um problema pedagógico ou restrito às escolas. Ele se conecta a processos históricos de desigualdade, exclusão social e concentração de oportunidades. Assim, sua permanência não reflete apenas a ausência de políticas públicas, mas também a incapacidade estrutural de tais políticas em romper ciclos de pobreza e vulnerabilidade que atravessam gerações. Desse modo, compreender o analfabetismo exige dialogar com autores clássicos e contemporâneos, que o reconhecem como fenômeno multidimensional, atravessado por questões culturais, econômicas e políticas.

Por outro lado, as últimas décadas assistiram ao crescimento de iniciativas ligadas às tecnologias assistivas — recursos, dispositivos ou sistemas destinados a ampliar habilidades funcionais de pessoas em situação de deficiência ou vulnerabilidade. Inicialmente voltadas para pessoas com deficiência visual ou auditiva, essas tecnologias passaram a dialogar também com contextos mais amplos de inclusão, mostrando que a inovação pode ser usada para reduzir barreiras sociais. Recursos como o sistema Braille, os audiolivros e, mais recentemente, softwares de leitura digital, constituem exemplos de soluções que possibilitaram maior autonomia para grupos historicamente marginalizados.

No entanto, muitas dessas tecnologias, sobretudo as que envolvem integração de hardware e software avançados, ainda permanecem restritas a contextos de alto custo ou a países com infraestrutura tecnológica consolidada. Soluções comerciais, como o dispositivo OrCam MyEye, ilustram essa contradição: ao mesmo tempo em que comprovam a eficácia da combinação entre reconhecimento óptico de caracteres (OCR) e sistemas de conversão de texto em fala (TTS), também demonstram como o

preço elevado impede seu acesso pelas camadas mais vulneráveis da população, especialmente em países como o Brasil, onde a desigualdade social é acentuada.

Nesse contexto, a fundamentação teórica do projeto Óptica 3.0 se ancora em dois pilares. O primeiro está no debate educacional, que compreende o analfabetismo como um entrave estrutural à cidadania plena, exigindo a busca de soluções inovadoras e complementares às políticas públicas formais. O segundo está no campo da ciência e da tecnologia, que oferece ferramentas já consolidadas — como bibliotecas de OCR e sistemas de TTS — capazes de serem reconfiguradas e adaptadas em dispositivos de baixo custo e impacto social imediato. A integração desses dois eixos possibilita a formulação de uma proposta que não se limita a propor avanços técnicos, mas que os coloca a serviço da inclusão social, da autonomia individual e da democratização do acesso à informação.

3.1. O analfabetismo como fenômeno social

O analfabetismo é um dos fenômenos sociais mais persistentes e complexos da realidade brasileira. Muito além de representar apenas a incapacidade de decodificar símbolos escritos, ele deve ser compreendido como um elemento estrutural da desigualdade social. Historicamente, a ausência de políticas educacionais universais, a precariedade do acesso escolar e as desigualdades regionais, raciais e econômicas fizeram com que parcelas significativas da população permanecessem privadas do direito básico à leitura e à escrita. Essa condição não apenas limita o desenvolvimento individual, mas também fragiliza a democracia e restringe o exercício pleno da cidadania.

Autores como Paulo Freire (1989) foram decisivos para ampliar a compreensão desse fenômeno. Para Freire, alfabetizar não é apenas ensinar o código escrito, mas permitir ao sujeito uma leitura crítica do mundo, possibilitando que ele se perceba como agente de transformação social. Sob essa perspectiva, o analfabetismo não é apenas ausência de técnica, mas também de voz e de poder. Assim, a luta contra o analfabetismo não se restringe ao campo pedagógico: ela se estende ao campo político e social, por se tratar de uma ferramenta de emancipação e inclusão.

No Brasil, os números recentes revelam que o problema permanece atual. O Censo Demográfico de 2022 indicou que aproximadamente 7% da população com 15 anos ou mais ainda não sabe ler nem escrever frases simples. Esse índice, embora inferior ao registrado em décadas anteriores, permanece elevado quando comparado a países vizinhos da América Latina. Ainda mais preocupante é a situação do analfabetismo funcional. Dados do Indicador de Alfabetismo Funcional (INAF, 2025) apontam que 29% da população entre 15 e 64 anos apresenta dificuldades significativas para compreender e utilizar textos escritos em tarefas cotidianas. Esse número é praticamente idêntico ao observado em 2018, revelando uma estagnação de longo prazo que denuncia as limitações das políticas públicas no combate ao problema. Na tabela 4, é mostrado o recorte de alfabetismo em 6 anos, de 2018 à 2024.

Tabela 4 - Taxa de alfabetismo no período de 6 anos

Níveis	2018 (%)	2024 (%)
Analfabetos funcionais	29,37%	29,35%
Elementar	34,37%	35,81%
Alfabetismo consolidado	36,26%	34,84%
Base	2002	2480

Fonte: INAF, 2024

O analfabetismo também carrega fortes marcas de desigualdade. A taxa é significativamente mais alta entre a população idosa, em áreas rurais, no Nordeste e entre pessoas pretas e pardas, evidenciando como o problema se entrelaça a dimensões históricas de exclusão. Além disso, ele compromete diretamente a inserção no mercado de trabalho, a autonomia no acesso a serviços de saúde e a participação na vida pública, reforçando um ciclo de marginalização.

Nesse sentido, compreender o analfabetismo como fenômeno social significa reconhecê-lo não apenas como falha individual ou lacuna escolar, mas como expressão de desigualdades estruturais. O combate a esse problema, portanto, exige tanto políticas educacionais eficazes quanto iniciativas complementares capazes de oferecer autonomia imediata às pessoas afetadas. É nesse ponto que projetos inovadores, como o Óptica 3.0, ganham relevância: ao propor soluções tecnológicas de baixo custo, eles dialogam com as demandas concretas da população que continua à margem da escrita e da leitura, ampliando horizontes de cidadania e inclusão.

3.1.1. Contribuições de Paulo Freire e autores contemporâneos.

A compreensão do analfabetismo como fenômeno social não pode prescindir das contribuições de Paulo Freire, um dos principais teóricos da educação no Brasil e referência mundial no campo da pedagogia crítica. Em sua obra seminal *A importância do ato de ler* (1989), Freire enfatiza que a alfabetização vai além da aprendizagem mecânica do código escrito. Para ele, ler não é apenas decodificar palavras, mas compreender o mundo. Nesse sentido, a alfabetização é entendida como ato político, no qual o indivíduo passa a reconhecer-se como sujeito histórico, capaz de questionar, interpretar e transformar a realidade em que vive.

Freire denunciava a educação “bancária”, em que o professor deposita conhecimentos prontos no aluno, defendendo em seu lugar uma pedagogia dialógica, centrada na experiência concreta dos educandos. Esse pensamento influenciou profundamente as práticas de alfabetização de jovens e adultos, mostrando que ensinar a ler e escrever exige partir do vocabulário, da cultura e das vivências da comunidade. A alfabetização, assim, torna-se processo de emancipação e não mera aquisição técnica.

Autores contemporâneos têm ampliado e atualizado essas reflexões. Soares (2004), por exemplo, introduz a noção de letramento, que diz respeito não apenas à capacidade de ler e escrever, mas à habilidade de utilizar a leitura e a escrita em contextos sociais específicos. Nesse sentido, um indivíduo pode ser alfabetizado no sentido técnico, mas ainda carecer de letramento, permanecendo em condição de exclusão funcional.

Da mesma forma, Ribeiro (2019) aponta que o analfabetismo no Brasil não é resultado de falhas individuais, mas de processos coletivos de exclusão, marcados por desigualdades históricas. Ele ressalta que, embora programas de alfabetização tenham alcançado milhões de pessoas, a falta de continuidade e de metodologias críticas limita a efetividade a longo prazo. Nesse ponto, resgata-se a centralidade da pedagogia freireana: sem vínculo com a realidade social dos educandos, a alfabetização corre o risco de ser superficial e ineficaz.

Essas perspectivas teóricas permitem entender por que o analfabetismo persiste mesmo diante de políticas públicas: ele está enraizado em dimensões estruturais de pobreza, exclusão cultural e falta de acesso a recursos tecnológicos. Autores como Castells (2003), ao discutir a sociedade em rede, mostram que o acesso à informação e ao conhecimento se tornou o principal capital do século XXI. Nesse contexto, indivíduos que não dominam a leitura e a escrita são duplamente excluídos: da educação formal e do universo digital.

Quadro 1 - Discussão de Autores sobre o Analfabetismo

Paulo Freire	Alfabetização como ato político e emancipador;
Magda Soares	Letramento como prática social;
Vera Masagão Ribeiro	Analfabetismo como processo estrutural;
Manuel Castells	Exclusão digital como nova face da exclusão educacional. Isso ajuda a organizar visualmente as bases teóricas.

Fonte: Elaborada pelo autor

Assim, o diálogo entre Paulo Freire e autores contemporâneos reforça a ideia de que o analfabetismo é um fenômeno multifacetado, que exige tanto políticas públicas consistentes quanto soluções inovadoras e inclusivas. Projetos como o Óptica 3.0, ao utilizarem recursos tecnológicos para ampliar a autonomia imediata de indivíduos em situação de analfabetismo, alinham-se à tradição crítica da educação brasileira, na medida em que reconhecem que a inclusão social não se limita à escola, mas deve abranger também os espaços cotidianos da vida em sociedade.

3.1.2. Analfabetismo funcional vs. absoluto.

O analfabetismo no Brasil não é um fenômeno homogêneo, manifestando-se em duas categorias principais que, embora relacionadas, possuem implicações distintas na vida social e econômica da população: o analfabetismo absoluto e o analfabetismo funcional.

O analfabetismo absoluto é a forma mais básica e visível do problema. Ele se refere à incapacidade de uma pessoa ler e escrever frases simples. Historicamente, o Brasil tem visto uma redução contínua dessa taxa, que era de 56% em 1940 e caiu para 7% em 2022. Embora essa queda seja um avanço notável, o número ainda é

significativo, representando cerca de 11 milhões de pessoas com 15 anos ou mais que não são capazes de ler e escrever. A persistência dessa condição está ligada a uma série de desigualdades estruturais, como as diferenças regionais — onde o Nordeste concentra uma taxa de 13,9% de analfabetismo, enquanto o Sul e Sudeste têm cerca de 3% — e as disparidades raciais, com a taxa entre pessoas pretas ou pardas sendo mais que o dobro da registrada entre brancos.

Em contraste, o analfabetismo funcional atinge um grupo muito maior e mais complexo. Ele abrange indivíduos que, apesar de terem frequentado a escola e serem capazes de decifrar palavras ou frases curtas, não possuem as habilidades de leitura e escrita necessárias para interpretar e utilizar informações em situações do cotidiano. Isso significa que, mesmo com a capacidade técnica de ler, eles enfrentam grandes dificuldades para compreender bulas de remédio, interpretar documentos, preencher formulários eletrônicos ou entender placas de sinalização. Segundo o Indicador de Alfabetismo Funcional (INAF) de 2024, aproximadamente 30% da população brasileira entre 15 e 64 anos se encontra nesse nível, classificado entre "analfabeto" e "rudimentar".

A estagnação desse índice, que se manteve praticamente inalterada desde 2018, revela um problema estrutural no sistema educacional, já que o simples acesso à escola não tem sido suficiente para garantir o pleno letramento da população. Essa falta de domínio da leitura e da escrita intensifica a exclusão digital, já que a posse de um dispositivo tecnológico não se traduz em autonomia de uso para milhões de brasileiros.

A distinção entre analfabetismo absoluto e funcional é crucial para a compreensão dos desafios que o país enfrenta. Enquanto o analfabetismo absoluto é a meta de políticas públicas como a Educação de Jovens e Adultos (EJA), o analfabetismo funcional demonstra que a ampliação da escolaridade por si só não resolve o problema. É necessário focar não apenas no acesso, mas na qualidade da educação e em soluções complementares que promovam o letramento contínuo e a inclusão social em um mundo cada vez mais dependente da informação escrita.

3.2. Tecnologias assistivas

As tecnologias assistivas representam um campo de inovações, dispositivos e sistemas que têm como objetivo ampliar as habilidades funcionais de indivíduos em situação de deficiência ou vulnerabilidade. Inicialmente focadas em pessoas com deficiência visual ou auditiva, essas soluções evoluíram para atuar em contextos mais amplos de inclusão, demonstrando como a tecnologia pode ser uma poderosa ferramenta para reduzir barreiras sociais. Elas não se limitam a aparatos complexos; englobam uma variedade de recursos que possibilitam maior autonomia a grupos historicamente marginalizados, ajudando a mitigar, ainda que parcialmente, os impactos da exclusão.

A relevância dessas tecnologias reside na sua capacidade de oferecer uma ponte prática para o acesso à informação e à participação social. Em contextos como o do analfabetismo, por exemplo, um dispositivo assistivo pode traduzir texto impresso em áudio, permitindo que uma pessoa sem habilidades de leitura consiga interagir com o mundo escrito de maneira mais autônoma. Essa dimensão prática e imediata diferencia as tecnologias assistivas de políticas públicas estruturais e de longo prazo. O projeto Óptica 3.0 se insere exatamente nessa lógica, propondo uma solução de baixo custo para uma demanda social urgente, servindo como uma resposta prática às lacunas deixadas por ações governamentais. Ao priorizar componentes acessíveis e software de código aberto, o projeto se posiciona como uma alternativa viável e inclusiva, em contraposição a soluções comerciais que, embora eficazes, frequentemente possuem custos proibitivos e inacessíveis para a população que mais precisa delas.

3.2.1. Histórico de soluções para inclusão

O desenvolvimento de tecnologias assistivas tem uma longa trajetória, marcada pela busca por autonomia para indivíduos com deficiências ou outras vulnerabilidades sociais. Inicialmente, o foco estava na superação de barreiras físicas e sensoriais, culminando em invenções que se tornaram marcos históricos da inclusão. O sistema Braille é um dos exemplos mais emblemáticos. Criado por Louis Braille no século XIX, ele revolucionou a forma como pessoas cegas ou com baixa visão acessavam a leitura

e a escrita, permitindo que elas pudessem se comunicar e ter acesso ao conhecimento de maneira independente.

Com a evolução da tecnologia, surgiram outras soluções, como os audiolivros, que permitiram que o acesso à literatura e a materiais de estudo não dependesse exclusivamente da visão. A digitalização e a popularização da internet ampliaram ainda mais as possibilidades, dando origem a softwares de leitura digital e sistemas de acessibilidade em interfaces de computador. Esses avanços, ao longo do tempo, foram cruciais para a democratização da informação, expandindo os horizontes de grupos historicamente marginalizados.

Embora essas inovações tenham representado um progresso significativo, a maioria das tecnologias assistivas avançadas, especialmente aquelas que integram hardware e software de ponta, ainda é restrita a contextos de alto custo ou a países com infraestrutura tecnológica consolidada. O preço elevado dessas soluções limita o acesso para a maioria da população em países com grandes desigualdades sociais, como o Brasil. Essa contradição demonstra a necessidade de se buscar alternativas acessíveis e sustentáveis, que possam verdadeiramente democratizar o acesso à tecnologia para fins de inclusão.

3.2.2. Experiências internacionais (ex: OrCam MyEye).

O cenário internacional das tecnologias assistivas para leitura revela soluções que, embora eficazes, frequentemente apresentam custos inacessíveis para a maioria da população em países em desenvolvimento. Um dos exemplos mais notáveis é o OrCam MyEye, um dispositivo de leitura vestível, desenvolvido em Israel, que representa a vanguarda da integração entre hardware, inteligência artificial e visão computacional. Ele é acoplado a uma armação de óculos e utiliza uma câmera para capturar imagens de textos impressos, convertendo-os em fala em tempo real. A eficácia do OrCam MyEye demonstra que a combinação de reconhecimento óptico de caracteres (OCR) e sistemas de conversão de texto em fala (TTS) é funcional e pode ser utilizada para ampliar significativamente a autonomia de pessoas com deficiência visual ou, em um contexto mais amplo, com analfabetismo.

No entanto, o alto custo desse dispositivo, que pode ultrapassar sessenta mil reais, inviabiliza seu acesso para a maior parte da população brasileira. Essa barreira financeira ressalta uma contradição no campo da tecnologia assistiva: enquanto a inovação oferece soluções poderosas para a inclusão, o modelo de mercado elitizado impede que essas ferramentas cheguem a quem mais precisa delas. A experiência de dispositivos como o OrCam MyEye serve de inspiração para projetos como o Óptica 3.0, que buscam replicar a funcionalidade de tecnologias de ponta, mas com uma abordagem focada em baixo custo e acessibilidade, utilizando componentes como o Raspberry Pi Zero e softwares de código aberto.

Ao propor uma alternativa de baixo custo, o projeto Óptica 3.0 se alinha a uma tendência global de democratização tecnológica, que busca quebrar o ciclo de exclusão social e digital perpetuado pela inacessibilidade de produtos comerciais. A análise de experiências internacionais, portanto, não apenas valida o conceito técnico do projeto, mas também reforça a sua justificativa social: a inovação tecnológica deve estar a serviço da inclusão, e não restrita a um mercado de luxo.

3.3. Fundamentos técnicos

O desenvolvimento do dispositivo Óptica 3.0 está ancorado em um conjunto de fundamentos técnicos que garantem sua viabilidade prática e funcional. Tais fundamentos abrangem desde técnicas de processamento de informação, como o reconhecimento óptico de caracteres (OCR) e a conversão de texto em fala (TTS), até aspectos relacionados ao hardware, como o uso de microcontroladores de baixo custo e a integração de elementos ópticos, a exemplo de visores e lasers. A escolha desses componentes não se restringe apenas ao seu desempenho, mas considera também critérios como acessibilidade econômica, baixo consumo energético e compatibilidade com bibliotecas de código aberto, fatores essenciais para a democratização do acesso ao dispositivo.

No que se refere ao OCR, trata-se de uma tecnologia consolidada e amplamente utilizada em diferentes contextos de digitalização e processamento de documentos. Seu princípio de funcionamento consiste na captura de imagens de textos impressos e na posterior análise computacional para identificar padrões gráficos correspondentes a caracteres. No caso do Óptica 3.0, a implementação

dessa técnica privilegia bibliotecas livres, como o Tesseract OCR, capazes de oferecer resultados satisfatórios em dispositivos de baixo poder computacional. A utilização desse recurso possibilita que textos impressos sejam rapidamente convertidos em informação digital, constituindo a etapa inicial para a tradução em fala.

A conversão de texto em fala (TTS), por sua vez, é o segundo pilar tecnológico do projeto. Essa técnica se baseia em algoritmos capazes de transformar dados textuais em saída de áudio, simulando a voz humana por meio de síntese computacional. Em termos práticos, trata-se do componente que possibilita ao usuário analfabeto interagir de forma autônoma com o conteúdo escrito, uma vez que o texto capturado pelo OCR é imediatamente reproduzido em forma sonora. Para assegurar a acessibilidade, priorizam-se soluções que operem offline, como o eSpeak-NG, reduzindo a dependência de conexão à internet e garantindo que o dispositivo possa ser utilizado em diferentes contextos sociais e geográficos.

Além do software, o desempenho do Óptica 3.0 depende da escolha adequada do hardware. Nesse sentido, a adoção de microcontroladores e sistemas embarcados de baixo custo é fundamental. Dispositivos como o Raspberry Pi Zero oferecem uma plataforma compacta, energeticamente eficiente e de custo acessível, capaz de executar simultaneamente tarefas de captura de imagem, processamento de OCR e síntese de voz. O emprego desse tipo de solução evidencia o compromisso do projeto com a viabilidade econômica, evitando a necessidade de componentes proprietários e caros que inviabilizariam sua difusão em larga escala.

Por fim, a integração de visores e lasers complementa o conjunto de fundamentos técnicos. Os visores possibilitam que o operador ou eventual instrutor acompanhe a execução do dispositivo e realize ajustes necessários, enquanto os lasers podem atuar como guias de posicionamento, auxiliando na correta focalização do texto a ser capturado pela câmera. Esse recurso é particularmente útil em situações cotidianas, nas quais o usuário precisa alinhar rapidamente o dispositivo com o material impresso.

Em conjunto, esses fundamentos técnicos estabelecem as bases que tornam o Óptica 3.0 uma solução não apenas funcional, mas também acessível e sustentável. A integração entre software de código aberto e hardware de baixo custo, associada a mecanismos práticos de usabilidade, reforça a proposta de oferecer um dispositivo

capaz de atender a necessidades reais da população analfabeta, respeitando ao mesmo tempo os limites econômicos e sociais do contexto brasileiro.

3.3.1. Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR).

O reconhecimento óptico de caracteres, conhecido pela sigla OCR, é uma das tecnologias centrais no funcionamento do Óptica 3.0. Sua função consiste em converter imagens contendo texto impresso em representações digitais manipuláveis pelo sistema, permitindo que informações visuais sejam transformadas em dados passíveis de processamento posterior, como a conversão em fala. Essa etapa é decisiva para que o dispositivo cumpra seu objetivo de mediar a interação de pessoas analfabetas com conteúdos escritos, funcionando como um tradutor automático entre o mundo visual da escrita e a dimensão auditiva da oralidade.

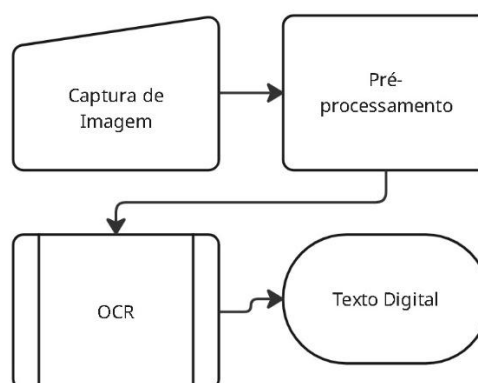
O princípio do OCR baseia-se em técnicas de visão computacional e inteligência artificial, que analisam padrões gráficos e os comparam a conjuntos pré-estabelecidos de caracteres. Nas implementações mais tradicionais, esse processo envolve a segmentação da imagem em regiões menores, a normalização de contraste e luminosidade, a detecção de contornos e, finalmente, o reconhecimento de cada letra ou palavra. Em sistemas mais recentes, a aplicação de redes neurais convolucionais elevou significativamente a precisão do reconhecimento, mesmo em condições adversas, como baixa iluminação ou distorções de impressão.

No contexto do Óptica 3.0, optou-se pela utilização do Tesseract OCR, uma biblioteca de código aberto amplamente reconhecida por sua eficiência e compatibilidade com diversas linguagens de programação. Além de gratuita, essa ferramenta é especialmente adequada para dispositivos de baixo custo, já que sua arquitetura permite operar em microcomputadores como o Raspberry Pi Zero, com consumo moderado de recursos de processamento. Outro ponto positivo é sua capacidade de reconhecimento em múltiplos idiomas, o que amplia as possibilidades de adaptação do dispositivo para diferentes contextos culturais e linguísticos.

Apesar dos avanços, o uso do OCR em dispositivos portáteis de baixo custo apresenta desafios técnicos. Variações de iluminação, qualidade da câmera e instabilidade no manuseio do dispositivo podem comprometer a precisão do

reconhecimento. Para contornar essas limitações, são necessárias etapas adicionais de pré-processamento da imagem, como filtros de nitidez, correção de perspectiva e binarização adaptativa. Esses procedimentos, embora simples, aumentam de forma significativa a taxa de acerto do OCR, tornando-o mais confiável em situações de uso cotidiano.

Figura 6 - Fluxo simplificado do OCR



Fonte: Elaborada pelo autor

Dessa forma, o OCR não é apenas um recurso técnico, mas o alicerce que viabiliza toda a funcionalidade do dispositivo. Sua capacidade de transformar símbolos visuais em informação estruturada estabelece a ponte necessária para que o texto impresso, antes inacessível a pessoas analfabetas, seja convertido em linguagem falada e, conseqüentemente, compreensível. A escolha por uma solução livre, robusta e compatível com hardware acessível reafirma o compromisso do projeto com a inclusão tecnológica e social.

3.3.2. Conversão de texto em fala (TTS).

A conversão de texto em fala, ou TTS (Text-to-Speech), representa o segundo eixo tecnológico essencial para o funcionamento do Óptica 3.0. Se o OCR é responsável por traduzir o conteúdo visual em informação digital, o TTS realiza a etapa subsequente, transformando essa informação em linguagem falada. Trata-se, portanto, do elo final do processo, aquele que garante a entrega da informação ao usuário de forma clara, imediata e compreensível, permitindo que indivíduos

analfabetos ou com dificuldades severas de leitura possam acessar conteúdos escritos com autonomia.

Do ponto de vista técnico, o TTS combina duas grandes etapas: a análise linguística e a síntese da fala. A primeira compreende a interpretação das estruturas textuais, como pontuação, acentuação e entonação, assegurando que a leitura gerada pelo sistema se aproxime da fluência natural da fala humana. Já a segunda etapa refere-se à transformação dessas informações em ondas sonoras, por meio de algoritmos que podem ser baseados em concatenação de fonemas pré-gravados ou em modelos computacionais que geram a voz de forma inteiramente sintética.

Para o projeto Óptica 3.0, a escolha recai sobre soluções de código aberto, como o eSpeak-NG, que apresentam boa relação entre desempenho e leveza computacional. Diferentemente de sistemas sofisticados baseados em inteligência artificial em nuvem, que exigem grande capacidade de processamento e conexão constante à internet, o eSpeak-NG funciona de maneira eficiente em dispositivos de baixo custo e pode operar totalmente offline. Essa característica é determinante, pois assegura que o dispositivo seja utilizável mesmo em regiões onde a conectividade é limitada ou inexistente, ampliando o alcance social da proposta.

Um aspecto relevante do TTS no contexto de inclusão é a inteligibilidade da voz sintetizada. Embora vozes artificiais ainda apresentem certa distância em relação à naturalidade humana, a evolução recente das bibliotecas de síntese tem permitido resultados suficientemente claros para fins de acessibilidade. A possibilidade de configurar velocidade, entonação e até timbres diferentes garante um mínimo de personalização, fator que pode facilitar a adaptação do dispositivo a diferentes perfis de usuários.

Além da dimensão técnica, o TTS possui também um impacto social direto. Ao converter a escrita em voz, ele rompe a barreira de exclusão imposta pela falta de letramento, devolvendo ao indivíduo uma forma de independência no contato com informações essenciais, como bulas de medicamentos, placas de transporte público ou comunicados oficiais. Assim, mais do que um recurso tecnológico, o TTS assume um caráter emancipatório, pois possibilita que a oralidade, forma primária de comunicação humana, seja usada como ponte de acesso ao conhecimento registrado na escrita.

Dessa forma, a integração do TTS ao dispositivo Óptica 3.0 complementa o ciclo iniciado pelo OCR, consolidando um processo contínuo de tradução entre o mundo escrito e o universo sonoro. A escolha por ferramentas acessíveis e compatíveis com hardware simplificado reforça a premissa central do projeto: unir eficiência tecnológica e viabilidade social em um dispositivo de baixo custo, voltado prioritariamente à democratização da informação.

3.3.3. Microcontroladores e visão computacional de baixo custo.

A viabilidade do Óptica 3.0 como dispositivo acessível depende diretamente da seleção adequada de seus componentes de hardware, em especial dos microcontroladores e sistemas embarcados responsáveis pelo processamento das informações. Em projetos de inclusão tecnológica, o desafio não está apenas em garantir que o equipamento funcione, mas em assegurar que ele seja financeiramente acessível, energeticamente eficiente e suficientemente compacto para o uso cotidiano. Nesse sentido, a adoção de microcontroladores de baixo custo aliados a técnicas de visão computacional simplificada configura um dos pilares técnicos do projeto.

Entre as alternativas disponíveis, plataformas como o Raspberry Pi Zero destacam-se por sua relação entre custo e desempenho. Embora possua capacidade de processamento limitada quando comparada a computadores convencionais, esse microcomputador é plenamente capaz de executar tarefas como captura de imagens, pré-processamento básico, aplicação de algoritmos de OCR e integração com sistemas de conversão de texto em fala. Além disso, sua estrutura compacta e seu baixo consumo energético permitem a criação de dispositivos portáteis, sem a necessidade de grandes fontes de alimentação ou sistemas de refrigeração complexos.

A visão computacional, por sua vez, é a área da ciência da computação responsável por capacitar máquinas a interpretar informações visuais. No caso do Óptica 3.0, ela se manifesta principalmente na etapa de captura e tratamento das imagens que serão submetidas ao OCR. Câmeras de baixo custo, amplamente

disponíveis no mercado, podem ser integradas ao microcontrolador para realizar essa função. Embora não possuam a mesma qualidade de equipamentos profissionais, sua utilização é suficiente quando associada a técnicas de pré-processamento, como ajuste de brilho, contraste e remoção de ruídos digitais.

Outro ponto relevante é a compatibilidade dessas plataformas com bibliotecas de código aberto, como OpenCV, que oferecem recursos de visão computacional capazes de operar mesmo em condições limitadas de processamento. Embora implementações complexas de inteligência artificial demandem hardware avançado, muitas operações básicas de detecção, alinhamento e segmentação de texto podem ser executadas em sistemas simplificados, sem comprometer o desempenho global do dispositivo.

O uso de microcontroladores e câmeras acessíveis também garante flexibilidade para futuras expansões. Como o dispositivo é modular, novas funcionalidades, como ajustes automáticos de foco ou reconhecimento de símbolos não textuais (por exemplo, pictogramas ou sinais de acessibilidade), podem ser incorporadas gradualmente, sem necessidade de substituir toda a arquitetura do sistema. Essa escalabilidade é fundamental para assegurar que o Óptica 3.0 permaneça relevante ao longo do tempo, adaptando-se às demandas de seus usuários.

Assim, a escolha por microcontroladores e recursos de visão computacional de baixo custo não representa apenas uma decisão técnica, mas sobretudo social. Ao reduzir o preço final e manter a eficiência necessária para o uso cotidiano, essa opção garante que o dispositivo esteja ao alcance de populações historicamente marginalizadas, cumprindo sua função de democratizar o acesso à informação escrita.

3.3.4. Visores e Lasers

O último componente técnico a ser considerado no desenvolvimento do Óptica 3.0 refere-se aos mecanismos de interação física entre o usuário e o dispositivo, mais especificamente os recursos que auxiliam no enquadramento e na correta focalização do texto a ser capturado. Em projetos comerciais sofisticados, essa função costuma ser desempenhada por visores digitais acoplados à câmera, que permitem ao

operador visualizar em tempo real a área de leitura. Contudo, a implementação de visores desse tipo exige competências específicas em hardware e design de interfaces gráficas, além de elevar o custo e a complexidade do dispositivo.

Diante dessas limitações, o projeto Óptica 3.0 optou por uma solução mais simples e viável: a utilização de lasers de baixa intensidade como guias de posicionamento. Esse recurso, já empregado em alguns aparelhos de leitura óptica no mercado, projeta um feixe de luz que delimita a área de captura da câmera, permitindo que o usuário alinhe o dispositivo com o texto sem necessidade de uma tela ou visor auxiliar. Tal abordagem não apenas simplifica o processo de uso, mas também contribui para a redução de custos, uma vez que elimina a necessidade de componentes de exibição e processamento gráfico adicionais.

Do ponto de vista prático, o laser atua como uma referência visual externa, indicando onde o dispositivo está focalizando. Para usuários com pouca familiaridade com tecnologia, essa solução apresenta a vantagem de ser intuitiva: basta alinhar o feixe luminoso ao texto desejado. Além disso, o baixo consumo energético e a ampla disponibilidade desses módulos no mercado tornam sua integração tecnicamente acessível, compatível com a filosofia do projeto de adotar componentes simples e baratos.

Embora a utilização de lasers seja uma alternativa eficaz, é importante destacar que se trata de uma solução intermediária frente às dificuldades de implementar visores convencionais. Essa escolha reflete não apenas uma restrição técnica do grupo, mas também uma decisão consciente de privilegiar a viabilidade do protótipo em detrimento de recursos mais sofisticados. Em termos de acessibilidade, a adoção do laser como guia cumpre adequadamente o papel de auxiliar o usuário na orientação do dispositivo, garantindo que o processo de captura do texto seja realizado de forma rápida e confiável.

Assim, o emprego de lasers no Óptica 3.0 demonstra como a simplicidade pode ser transformada em aliada da inclusão. Ao priorizar soluções práticas e economicamente acessíveis, o projeto reforça sua proposta de oferecer um dispositivo funcional, adaptado às condições reais de seus usuários e capaz de cumprir sua finalidade social sem depender de tecnologias de alto custo ou de difícil implementação.

3.3.4.1. Laser trabalhado

Para a implementação do recurso de guia visual no Óptica 3.0, optou-se pela utilização de um laser diodo vermelho como componente principal. Essa escolha decorre de um conjunto de fatores que envolvem disponibilidade no mercado, baixo custo, simplicidade de integração ao circuito e eficiência na função de demarcar a área de captura do texto.

O laser diodo vermelho é um dos modelos mais difundidos em aplicações comerciais e educacionais. Sua emissão, tipicamente na faixa de 630 a 680 nm, garante boa visibilidade em ambientes internos e externos de baixa luminosidade, além de não exigir corrente elétrica elevada para operação. A característica de baixo consumo energético torna-o compatível com sistemas portáteis alimentados por baterias, aspecto essencial para a viabilidade do dispositivo.

Outro ponto relevante é a segurança de uso. Embora seja necessário cuidado na manipulação de qualquer tipo de laser, os módulos de diodo vermelho geralmente se enquadram na classe II ou IIIa, que apresentam riscos mínimos quando utilizados de forma responsável. No projeto, o laser não tem função de leitura óptica — ou seja, não interage com o papel nem com o texto —, mas apenas de atuar como guia de posicionamento, reduzindo a necessidade de precisão manual do usuário no momento de alinhar o dispositivo com o material impresso.

A integração do laser ao protótipo foi planejada de forma a oferecer ao usuário controle direto e intuitivo por meio de três acionadores físicos no case:

- Um interruptor de chave geral, responsável por ligar e desligar o dispositivo como um todo;
- Um interruptor dedicado ao laser, permitindo que o usuário ative ou desative o guia luminoso de acordo com a necessidade, economizando energia quando o recurso não for requerido;
- Um botão de captura, que aciona simultaneamente a câmera e o processamento de OCR, enviando o texto reconhecido para o sistema de conversão em fala (TTS).

Essa organização garante praticidade no uso e prolonga a vida útil dos componentes, uma vez que evita acionamentos desnecessários. Além disso, a

presença de controles físicos reforça a acessibilidade, permitindo que mesmo usuários sem familiaridade tecnológica consigam operar o dispositivo de maneira simples e eficiente.

Portanto, a escolha do laser diodo vermelho, associada à implementação de um sistema de controle físico por interruptores e botão, reafirma o compromisso do projeto com soluções acessíveis, funcionais e seguras. Essa combinação representa um equilíbrio entre viabilidade técnica, baixo custo e praticidade, consolidando-se como o recurso mais adequado para o papel de guia óptico no protótipo Óptica 3.0.

4. OBJETIVOS

4.1. Geral

O presente projeto tem como objetivo geral o desenvolvimento de um protótipo de dispositivo portátil, baseado em técnicas de visão computacional, capaz de realizar a leitura de textos impressos e convertê-los em áudio. A proposta visa promover maior autonomia e inclusão social para pessoas analfabetas ou com dificuldades severas de leitura, oferecendo uma solução tecnológica de baixo custo e adaptada à realidade brasileira.

4.1.1. Específicos

Para a viabilização desse objetivo central, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Projetar o circuito eletrônico, utilizando o microcontrolador Raspberry Pi Zero, módulo de câmera e sistema de saída de áudio, de forma a garantir integração eficiente entre hardware e software, com baixo consumo de energia e custo reduzido;
- Implementar um sistema de reconhecimento óptico de caracteres (OCR) capaz de capturar e interpretar textos impressos em condições variadas de iluminação e qualidade de impressão;
- Integrar uma ferramenta de conversão texto-fala (TTS) que possibilite a transformação imediata dos textos capturados em saída de áudio clara e inteligível, mesmo em operação offline;
- Realizar testes do protótipo com usuários em diferentes contextos reais — como leitura de placas, rótulos e panfletos — de modo a avaliar a usabilidade e a robustez da solução;
- Analisar a viabilidade técnica e social do dispositivo, considerando não apenas seu funcionamento prático, mas também seu potencial como recurso de acessibilidade e inclusão tecnológica.

5. METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento do Óptica 3.0 segue os princípios do método de engenharia, estruturando-se a partir da identificação de um problema social relevante — o analfabetismo e suas implicações de exclusão — e avançando para a construção de uma solução prática, representada por um protótipo funcional. O processo contempla desde a pesquisa bibliográfica inicial até a fase de testes em campo, passando pela definição dos requisitos técnicos, seleção de componentes e integração entre hardware e software.

5.1. Materiais

Para a construção do protótipo, foram selecionados componentes de baixo custo e fácil aquisição no mercado, de modo a garantir a viabilidade econômica e a replicabilidade do projeto. A Tabela 1 apresenta os principais materiais empregados e suas funções no dispositivo.

Quadro 2 - Componentes do projeto e a função de cada um

Material	Função no protótipo
Raspberry Pi Zero	Microcontrolador responsável pelo processamento central (OCR e TTS).
Módulo de câmera para Raspberry Pi	Captura de imagens dos textos impressos.
PAM8403 (amplificador de áudio)	Amplificação do sinal sonoro para o alto-falante.
Alto-falante	Reprodução em áudio do texto convertido pela síntese de fala.
Laser diodo vermelho	Guia de posicionamento para auxiliar no enquadramento do texto.
Interruptores e botão de captura	Chave geral, acionamento do laser e disparo de captura/processamento.
Fonte de energia (power bank ou bateria Li-ion com regulador 5V)	Alimentação portátil do sistema.

Material	Função no protótipo
Cabos e conectores	Conexão elétrica entre os componentes (jumpers, cabos flexíveis para câmera, etc.).
Case em impressão 3D	Estrutura física para alojamento e proteção do hardware, garantindo ergonomia e portabilidade.
Softwares	Tesseract OCR (reconhecimento de caracteres), eSpeak-NG/text-to-speak (conversão texto-fala), OpenCV (visão computacional).

Fonte: Elabora pelo autor

5.2. Método

- O desenvolvimento do Óptica 3.0 foi conduzido em etapas sequenciais, seguindo o ciclo de projeto em engenharia:
- Pesquisa bibliográfica e contextual: levantamento de dados sobre o analfabetismo no Brasil e análise de soluções tecnológicas existentes (como OrCam MyEye), a fim de delimitar o problema e identificar lacunas de acessibilidade.
- Definição dos requisitos técnicos: especificação das funcionalidades mínimas necessárias para o dispositivo, incluindo captura de imagem, reconhecimento óptico de caracteres, conversão em fala e portabilidade.
- Seleção e aquisição de componentes: escolha de materiais acessíveis (Raspberry Pi Zero, módulo de câmera, PAM8403, laser diodo vermelho, etc.), considerando critérios de custo, eficiência e compatibilidade.
- Montagem do hardware: integração dos componentes eletrônicos, instalação do sistema de energia e disposição dos acionadores físicos (chave geral, interruptor do laser e botão de captura) no case impresso em 3D.
- Implementação do software: programação em Python utilizando bibliotecas de OCR (Tesseract), conversão de texto em fala (eSpeak-NG) e visão computacional (OpenCV) para pré-processamento das imagens.
- Testes preliminares em laboratório: avaliação da precisão do OCR, clareza do áudio gerado e funcionamento integrado do hardware.
- Documentação e análise dos resultados: registro sistemático dos dados obtidos, com foco na viabilidade técnica e no potencial de impacto social da solução.

5.3. Procedimentos Técnicos

A execução técnica do projeto Óptica 3.0 foi estruturada em etapas que buscaram integrar os componentes de hardware e software de maneira funcional e acessível. Inicialmente, procedeu-se à montagem do protótipo, com a instalação do

Raspberry Pi Zero, ao qual foram conectados o módulo de câmera, o amplificador PAM8403, o alto-falante e o laser diodo vermelho. Os acionadores físicos (chave geral, interruptor do laser e botão de captura) foram integrados ao case em impressão 3D, permitindo ao usuário controlar de forma simples o funcionamento do dispositivo.

Na sequência, foi realizada a configuração do ambiente de software. O Raspberry Pi Zero recebeu a instalação do sistema operacional adequado, bem como das bibliotecas necessárias ao funcionamento do protótipo, incluindo o Tesseract OCR para reconhecimento óptico de caracteres, o eSpeak-NG como sintetizador de voz offline e o OpenCV para as rotinas de pré-processamento das imagens. O código, desenvolvido em linguagem Python, seguiu um pipeline definido: captura da imagem → pré-processamento (ajuste de contraste, remoção de ruídos, binarização) → aplicação do OCR → conversão do texto em áudio pelo TTS → reprodução pelo alto-falante.

Após a integração dos componentes, foram realizados testes preliminares em condições controladas de laboratório, a fim de avaliar o desempenho do sistema. Esses testes concentraram-se em três aspectos principais: (i) precisão do OCR, considerando diferentes qualidades de impressão e variações de iluminação; (ii) clareza e inteligibilidade do áudio sintetizado; e (iii) autonomia energética, verificando o tempo de funcionamento do dispositivo a partir de baterias portáteis. Os resultados obtidos nessa fase permitiram ajustes de software e otimizações no posicionamento da câmera e do laser.

Dessa forma, os procedimentos técnicos adotados garantiram a integração coerente entre hardware e software, resultando em um protótipo funcional e com potencial de evolução para futuras versões mais robustas e refinadas.

5.4. Procedimentos Sociais

Embora o projeto Óptica 3.0 tenha sido concebido com um claro objetivo social — promover maior autonomia para pessoas analfabetas ou com severas dificuldades de leitura —, a etapa de validação prática junto a esse público-alvo não pôde ser realizada dentro do cronograma estabelecido. Assim, os procedimentos sociais desenvolvidos permaneceram no campo teórico, baseando-se em pesquisa bibliográfica e em simulações de possíveis cenários de uso.

Do ponto de vista metodológico, foram discutidos os contextos cotidianos em que o dispositivo poderia ser empregado, como a leitura de rótulos de medicamentos, placas de ônibus ou panfletos de serviços públicos. Nessas situações, o Óptica 3.0 funcionaria como mediador imediato de informação, reduzindo a dependência de terceiros e ampliando a autonomia dos usuários.

Também foram consideradas as questões éticas envolvidas em testes sociais. Caso houvesse a participação de pessoas analfabetas em experimentos práticos, seria necessário garantir o consentimento informado, o anonimato dos participantes e a condução das atividades de forma não constrangedora. Além disso, a coleta de

feedback deveria priorizar a experiência do usuário, identificando dificuldades de manuseio e percepções quanto à utilidade do dispositivo no dia a dia.

Portanto, mesmo que os procedimentos sociais não tenham avançado para a etapa experimental, sua elaboração teórica contribuiu para fundamentar a relevância social do projeto e indicar caminhos para trabalhos futuros. Ao evidenciar os possíveis impactos de uso, essa reflexão complementa a dimensão técnica do protótipo, reforçando sua pertinência como ferramenta de acessibilidade e inclusão digital.

5.5. Custo

Os custos foram divididos em real e ideal, o que o grupo gastou no projeto inteiro e o quanto o dispositivo custa desconsiderando falhas e feiras. Na tabela 5, é demonstrado o custo que o grupo teve com relação ao projeto, incluindo até mesmo as feiras e descontando os fretes.

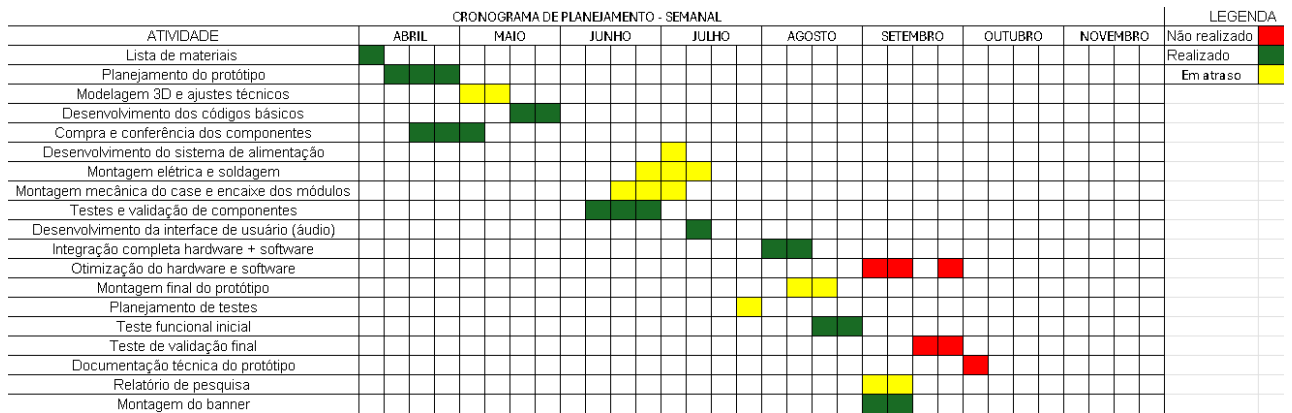
Tabela 5 - Custo do grupo com o projeto

PRODUTO	PREÇO
CHAVE GANGORRA	R\$ 3,00
FEIRAS	R\$ 150,00
CABOS 0,5mm ²	R\$ 6,00
TRANSISTOR BC337	R\$ 1,00
AMPLIFICADOR	R\$ 30,99
CÂMERA	R\$ 61,80
LASERS	R\$ 54,61
CABO FLAT	R\$ 8,90
ALTO FALANTE	R\$ 15,09
CABO P2 MACHO MACHO	R\$ 4,00
HUB USB	R\$ 29,90
TOTAL	R\$ 365,29

Fonte: Elaborada pelo Autor

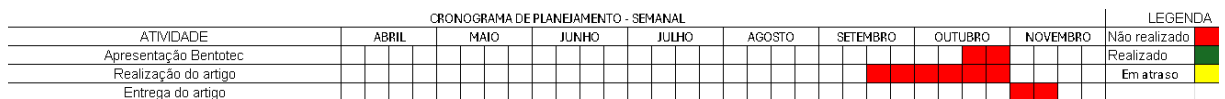
5.6. Cronograma

Figura 7 - Cronograma parte 1



Fonte: Elaborada pelo Autor

Figura 8 - Cronograma parte 2



Fonte: Elaborada pelo Autor

No cronograma, quando realizado, não foi constado a 15ª feira da BraganTec, por este motivo não foi inserido nada relacionado diretamente a ela.

6. RESULTADOS ESPERADOS

Com o desenvolvimento do projeto Óptica 3.0, espera-se a criação de um protótipo funcional, portátil e de baixo custo, capaz de capturar textos impressos por meio de uma câmera, processá-los com tecnologia de reconhecimento óptico de caracteres (OCR) e convertê-los em áudio por meio de síntese de fala (TTS). O dispositivo deverá operar de forma eficiente em diferentes contextos reais de uso, como a leitura de placas informativas, rótulos de medicamentos e panfletos de serviços públicos, oferecendo clareza sonora e usabilidade simplificada.

Além da dimensão técnica, espera-se que o protótipo contribua para a inclusão social e digital de pessoas analfabetas ou com dificuldades severas de leitura, ao proporcionar maior autonomia no acesso à informação escrita e reduzir a dependência de terceiros em atividades cotidianas. A proposta se apresenta como uma alternativa acessível a soluções comerciais de alto custo e também como mais viável do que o uso de smartphones convencionais, que exigem competências digitais avançadas.

Por fim, prevê-se que a documentação completa do processo de desenvolvimento — incluindo seleção de materiais, integração de hardware e software e análise preliminar de desempenho — possibilite futuras melhorias e ampliações do projeto, tanto em sua vertente técnica quanto em seu potencial de impacto social.

7. RESULTADOS OBTIDOS

O desenvolvimento do Óptica 3.0 possibilitou a construção de um protótipo funcional e portátil, integrando hardware e software em um sistema de baixo custo. O dispositivo foi montado a partir do Raspberry Pi Zero, módulo de câmera, amplificador PAM8403, alto-falante, laser diodo vermelho e case impresso em 3D, no qual foram incorporados três acionadores físicos: chave geral, interruptor do laser e botão de captura. Essa configuração garantiu ao usuário um controle simples e direto sobre o funcionamento do equipamento.

No âmbito do software, foram configuradas as bibliotecas Tesseract OCR, OpenCV e eSpeak-NG, compondo um fluxo de processamento capaz de capturar a imagem, realizar o pré-processamento, extrair o texto por OCR e convertê-lo em áudio de forma inteligível. Os testes preliminares em laboratório confirmaram a viabilidade técnica do protótipo, evidenciando que o sistema é capaz de cumprir sua função central, ainda que sujeito a limitações relacionadas à iluminação ambiente e à qualidade de alguns impressos.

A etapa de validação social, prevista para envolver pessoas analfabetas, não foi realizada devido a restrições de cronograma. Entretanto, foram discutidos teoricamente os cenários de aplicação do dispositivo, como leitura de rótulos de medicamentos, placas de ônibus e panfletos de serviços públicos, reforçando o potencial de impacto social do projeto.

Assim, os resultados obtidos demonstram que o Óptica 3.0 é uma solução tecnicamente viável e promissora, capaz de evoluir em futuras versões para ampliar sua robustez, melhorar a experiência do usuário e alcançar de forma mais efetiva seu propósito de inclusão e acessibilidade.

8. Considerações Finais

O desenvolvimento do projeto Óptica 3.0 demonstrou a viabilidade de construir um dispositivo portátil e de baixo custo, capaz de capturar textos impressos e convertê-los em áudio por meio de técnicas de visão computacional e síntese de fala. A integração entre hardware e software resultou em um protótipo funcional, que, mesmo em estágio inicial, mostrou-se eficiente no reconhecimento de textos e na reprodução sonora em condições controladas.

Embora o cronograma não tenha permitido a realização de testes sociais junto a pessoas analfabetas, a discussão teórica sobre esses aspectos evidenciou o potencial do dispositivo como ferramenta de inclusão e acessibilidade. A abordagem adotada, que conciliou componentes simples — como o Raspberry Pi Zero, câmera, amplificador PAM8403, alto-falante e laser diodo vermelho — com softwares de código aberto, reafirma o compromisso do projeto com soluções tecnológicas acessíveis e replicáveis.

Os resultados obtidos até o momento indicam que o Óptica 3.0 pode se consolidar como uma alternativa prática e economicamente viável em relação a soluções comerciais de alto custo, abrindo caminho para futuras versões mais robustas. Recomenda-se, em trabalhos posteriores, a realização de testes em campo com usuários finais, bem como a otimização do sistema de OCR para ambientes com iluminação variável e a melhoria da qualidade sonora.

Assim, conclui-se que o projeto alcançou seus objetivos centrais e constitui uma base sólida para o desenvolvimento de tecnologias assistivas voltadas à promoção da autonomia e da inclusão social de pessoas em situação de analfabetismo ou com severas dificuldades de leitura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADA, Lady. Introducing the Raspberry Pi Zero. 2015. Adafruit. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/introducing-the-raspberry-pi-zero/a-tour-of-the-pi-zero>.

Acesso em: 8 mar 2025.

ALMEIDA, Tamíris. Panorama do analfabetismo no Brasil e os caminhos para EJA. 2024. Disponível em:

<https://futura.frm.org.br/conteudo/educacaobasica/noticia/panorama-do-analfabetismo-no-brasil-e-os-caminhos-para-eja>. Acesso em: 26 mar 2025.

AQIB, Muhammad. Optical Character Recognition Using Raspberry Pi With OpenCV and Tesseract. 2019. Maker. Disponível em:

<https://maker.pro/raspberrypi/tutorial/optical-character-recognizer-using-raspberry-pi-with-opencv-and-tesseract>. Acesso em: 8 mar 2025.

BOOKWIRE. TTS – o que é, pra onde vai e o que podemos esperar?. Bookwire. Disponível em:

<https://br.bookwire.net/tts-o-que-e-pra-onde-vai-e-o-que-podemosesperar/#:~:text=Para%20quem%20est%C3%A1%20chegando%20agora,leitura%20feita%20integralmente%20por%20software>. Acesso em: 10 mar 2025

CAMBRAIA, Duda. Analfabetismo cai, mas atinge 7% dos brasileiros acima dos 15

anos, diz IBGE. 2024. CNN Brasil. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/analfabetismo-cai-mas-atinge-7-dosbrasileiros-acima-dos-15-anos-dizibge/#:~:text=Dados%20do%20Censo%20Demogr%C3%A1fico%20de,esse%20n%C3%BAmero%20era%20de%2056%25>. Acesso em: 26 mar 2025.

CORREIA, Jorge Luiz Pereira, MACÊDO, M. R. A, SANTOS, Francineide Castro,

BARRETO, Izabel Cristina de Santana. ANALFABETISMO FUNCIONAL NO BRASIL.

Vol. 27, ed. 129, dez. 2023. Disponível em:

<https://revistaft.com.br/analfabetismofuncionalnobrasil/#:~:text=Uma%20das%20principais%20causas%20%C3%A9,um%20papel%20importante%20nesse%20quadro>.

Data de acesso: 26 mar 2025.

FREIRE, Tâmara. Proporção de analfabetos cai para 6,6% em 2019; ainda há 11 milhões sem ler no país. 2020. Agência Brasil. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/educacao/audio/2020-07/proporcao-de-analfabetos-cai-para-66-em-2019-aindaha#:~:text=Mas%20isso%20significa%20que%20o,problema%20regional%20e%20de%20ra%C3%A7a>; Acesso em: 26 de mar 2025.

HENRIQUE, Paulo. O que é TTS e por que é importante para o call center?. Fala Mais VOIP. 2023. Disponível em: <https://www.falemaisvoip.com.br/blog/tts/#:~:text=O%20TTS%20%C3%A9%20a%20sigla,e%20at%C3%A9%20mesmo%20em%20videogames>. Acesso em: 15 mar 2025.

MENDES, Rafael Pereira da Silva. Analfabetismo. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/educacao/analfabetismo.htm#:~:text=Causas%20do%20analfabetismo,-As%20causas%20do&text=Em%20geral%2C%20o%20analfabetismo%20%C3%A9,5%2C9%25%20em%202023>. Acesso em: 26 mar 2025. META INCORPORATION. Orion: os óculos de Realidade Aumentada chegaram. 2024.

META. Disponível em: <https://about.fb.com/br/news/2024/09/orion-os-oculos-derealidade-aumentada-chegaram/>. Acesso em: 1 fev 2025.

Meta Quest. Orion, Explained. 2024. Youtube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=2CJsnyS8u3c&t=1s>. Acesso em: 1 fev 2025.

NERY, Carmen. Censo 2022: Taxa de analfabetismo cai de 9,6% para 7,0% em 12 anos, mas desigualdades persistem. 2024. Agência de Notícias. Disponível em: [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-denoticias/noticias/40098-censo-2022-taxa-de-analfabetismo-cai-de-9-6-para-7-0-em-12-anos-mas-desigualdadespersistem#:~:text=Ou%20seja%2C%20a%20taxa%20de,44%2C0%25\)%20era%20alfabetizada](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-denoticias/noticias/40098-censo-2022-taxa-de-analfabetismo-cai-de-9-6-para-7-0-em-12-anos-mas-desigualdadespersistem#:~:text=Ou%20seja%2C%20a%20taxa%20de,44%2C0%25)%20era%20alfabetizada). Acesso em: 26 mar 2025.

ORCAM. OrCam MyEye. Orcam. Disponível em: https://www.orcam.com/pt-pt/orcammyeye?srsId=AfmBOorFQVTr9E76VF9uvldP_BTKx6UNij96TCz7d10iF70Iw2HJaHYC. Acesso em: 4 fev 2025.

RAJ, Aswinth. Optical Character Recognition (OCR) using Tesseract on Raspberry Pi. 2019. Circuit Digest. Disponível em: <https://circuitdigest.com/microcontrollerprojects/optical-character-recognition-ocr-using-tesseract-on-raspberry-pi>. Acesso em: 8 mar 2025.

RAMIREZ, Ruzell. How to Power Your Raspberry Pi With a Battery. Circuit Basics. Disponível em: <https://www.circuitbasics.com/how-to-power-your-raspberry-pi-with-alithium-battery/>. Acesso em: 9 mar 2025.

SHAIP. O que é Text-to-Speech? – TTS Explicado. Shaip. Disponível em: <https://pt.shaip.com/blog/what-istts/#:~:text=Mas%20o%20que%20%C3%A9%20convers%C3%A3o,para%20fala%20em%20tr%C3%AAs%20partes>. Acesso em: 10 mar 2025.

Tim Skillman. Quick hack to add a Li-ion battery to a Raspberry Pi Zero. 2020. Youtube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=opYVS0EXZlq>. Acesso em: 9 mar 2025.

Tinkernut. Adding Audio Output To The Raspberry Pi Zero - Tinkernut Workbench. 2017. Youtube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3pXB90IDNoY>. Acesso em: 9 mar 2025.

TUTORIALS FOR RASPBERRY PI. Build Live Text Recognition with the Raspberry Pi (OCR). Disponível em: <https://tutorials-raspberrypi.com/raspberry-pi-text-recognitionocr/>. Acesso em: 8 mar 2025