

SICAPI: Solução Inteligente de Conformidade da Acessibilidade em Portais na Internet

SICAPI: Intelligent Web Portal Accessibility Compliance Solution

Luciana Carla Alves Costa de Araújo ¹

¹Instituto Federal de Pernambuco
Paulista – PE – Brasil

lcaca@discente.ifpe.edu.br

Resumo. A acessibilidade digital constitui um direito essencial em uma sociedade cada vez mais conectada. Este trabalho apresenta o desenvolvimento do SICAPI — Solução Inteligente de Conformidade da Acessibilidade em Portais na Internet, uma solução inovadora que realiza verificações automatizadas de acessibilidade em páginas web, fundamentadas nas diretrizes da Web Content Accessibility Guidelines (WCAG). O sistema integra tecnologias como Python, Flask, Selenium WebDriver, axe-core, SQLite e TensorFlow.js, organizadas em arquitetura modular para assegurar eficiência e escalabilidade. Além de detectar desconformidades, o SICAPI diferencia-se ao utilizar modelos de aprendizado de máquina executados diretamente no navegador para sugerir correções personalizadas. Testes comparativos com ferramentas consolidadas do mercado (AChecker, WAVE, TAW) demonstraram a eficácia do sistema e evidenciam seu potencial como apoio técnico à inclusão digital. Assim, a proposta contribui para reduzir barreiras de acesso, em consonância com diretrizes internacionais e com a legislação brasileira de inclusão.

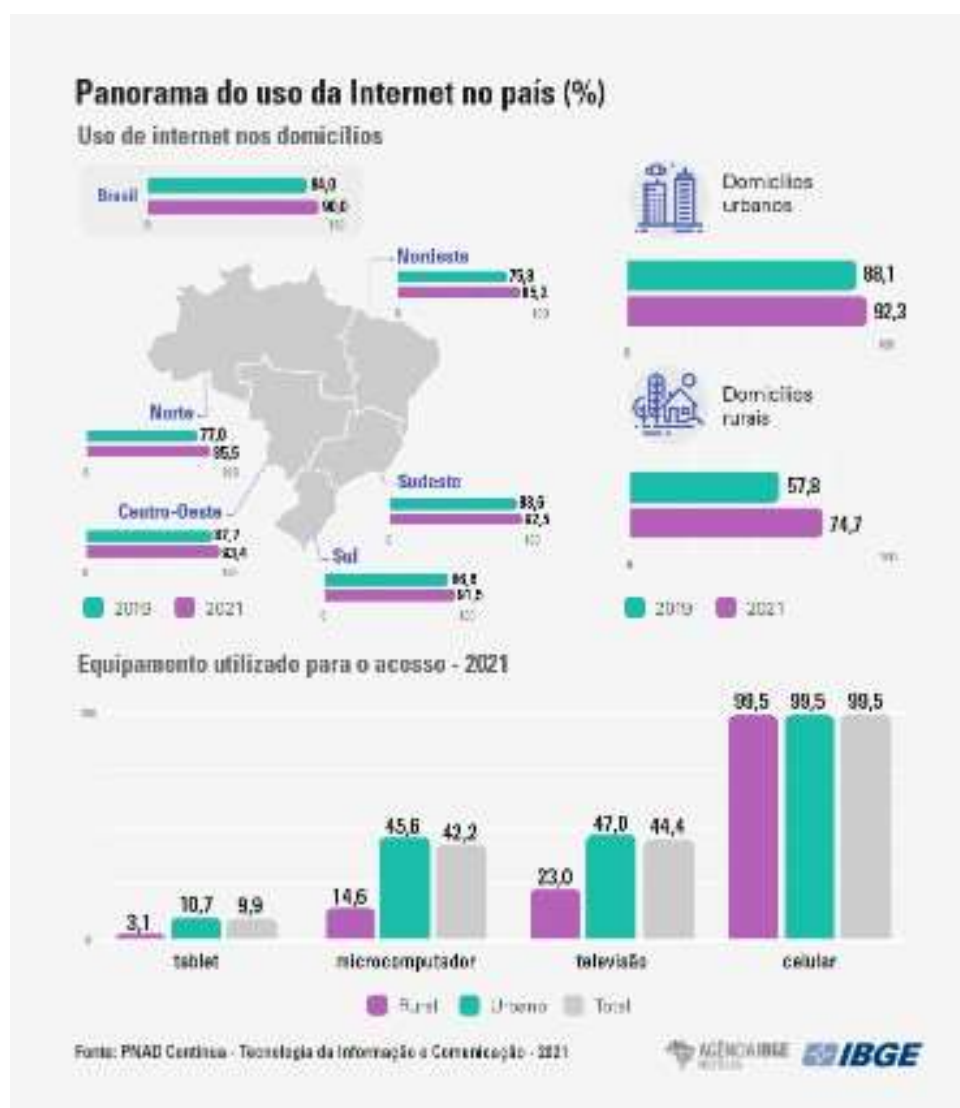
Palavras-chave: acessibilidade digital; WCAG; análise automatizada; inteligência artificial; inclusão social.

Abstract. Digital accessibility is a fundamental right in an increasingly connected society. This paper presents the development of SICAPI — Intelligent Web Portal Accessibility Compliance Solution, an innovative solution designed to perform automated accessibility checks based on the Web Content Accessibility Guidelines (WCAG). The system integrates technologies such as Python, Flask, Selenium WebDriver, axe-core, SQLite, and TensorFlow.js, structured in a modular architecture to ensure efficiency and scalability. Beyond detecting non-conformities, SICAPI stands out by applying machine learning models executed directly in the browser to provide personalized correction suggestions. Comparative tests with established market tools (AChecker, WAVE, TAW) demonstrated the system's effectiveness and highlighted its potential as a technical support for digital inclusion. Therefore, the proposal contributes to reducing accessibility barriers, in alignment with international guidelines and Brazilian legislation.

Keywords: digital accessibility; WCAG; automated analysis; artificial intelligence; social inclusion.

1. Introdução

Nos últimos anos, o acesso à *internet* apresentou um crescimento expressivo no Brasil, impulsionado pela digitalização de serviços, pela popularização de dispositivos móveis e, mais recentemente, pela migração de atividades cotidianas para o ambiente virtual, especialmente durante a pandemia de COVID-19 (Comitê gestor da internet no Brasil, 2022). De acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD TIC), realizada pelo IBGE, o percentual de domicílios com acesso à *internet* passou de 84% em 2019 para 90% em 2021, representando um acréscimo de aproximadamente 5,8 milhões de domicílios conectados (Instituto brasileiro de geografia e estatística, 2022). O panorama desse avanço é ilustrado na Figura 1, que destaca a evolução do acesso por situação de domicílio (urbano e rural) e por região do país.



Fonte: PNAD Contínua — Tecnologia da Informação e Comunicação 2021, IBGE (Instituto brasileiro de geografia e estatística, 2022).

A Figura 1 evidencia que, embora a cobertura em áreas urbanas esteja próxima

da universalização, o avanço em áreas rurais ainda representa um desafio significativo. Também se observa a predominância do celular como principal equipamento de acesso, reforçando o papel central da conectividade móvel. Essa crescente digitalização reflete a importância da *internet* no cotidiano: estudar, trabalhar, realizar transações bancárias, consumir entretenimento, acessar serviços de saúde, assinar documentos eletrônicos, entre outros (E-commerce Brasil, 2023; Instituto nacional de estudos e pesquisas educacionais anísio teixeira, 2022; Telebrasil, 2023). Entretanto, o rápido crescimento também expõe desigualdades e desafios de acessibilidade digital, mantendo milhões de pessoas com deficiência excluídas de um ambiente cada vez mais essencial (Instituto brasileiro de geografia e estatística, 2023).

Em 2024, a *BigDataCorp*, em parceria com o Movimento Web para Todos, realizou uma das maiores pesquisas sobre acessibilidade digital no Brasil, analisando 26,3 milhões de sites ativos (Bigdatacorp, 2024). O estudo revelou que apenas 3,3% dos sites atendem de forma adequada aos critérios de acessibilidade definidos pelas Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG). Foram identificados problemas recorrentes, como ausência de textos alternativos em imagens, falhas de contraste, navegação incompatível com leitores de tela e falta de responsividade. Esse cenário reforça a necessidade de ferramentas que auxiliem organizações e desenvolvedores na implementação de boas práticas de acessibilidade.

Diante desse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento do *SICAPI* (Solução Inteligente de Conformidade da Acessibilidade em Portais na Internet), capaz de realizar verificações automatizadas de acessibilidade, gerar relatórios técnicos e sugerir soluções com base nas diretrizes WCAG, promovendo inclusão e reduzindo barreiras digitais.

2. Revisão bibliográfica

Nesta seção, serão apresentados os principais fundamentos teóricos do desenvolvimento do *SICAPI*, os conceitos de acessibilidade digital, as diretrizes *WCAG*, as legislações brasileiras de inclusão, o papel da Inteligência Artificial e do *Machine Learning* para acessibilidade, e as ferramentas similares.

2.1. Acessibilidade digital

A acessibilidade digital emergiu como uma resposta à necessidade de promover a inclusão social em ambientes virtuais. Ela é essencial para assegurar que todas as pessoas, independentemente de suas habilidades ou limitações, possam acessar conteúdos, serviços *online* e exercer plenamente seus direitos de participação social, econômica e política (Pereira; Farina, 2022).

Nesse contexto, destaca-se a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CDPD), aprovada pela *Organização das Nações Unidas (ONU)* em 2006 (Organizações das nações unidas, 2006). A CDPD representa um marco internacional ao reconhecer a acessibilidade como um direito humano fundamental e um pré-requisito para que pessoas com deficiência possam exercer, em igualdade de condições, todos os demais direitos. O Brasil ratificou a Convenção em 2008, por meio do Decreto nº 6.949/2009, atribuindo-lhe equivalência constitucional.

A perspectiva da CDPD vai além do acesso físico, abrangendo também o acesso às tecnologias da informação e comunicação. O Artigo 9º, item g, estabelece o direito das pessoas com deficiência ao acesso às novas tecnologias e sistemas de informação e comunicação, incluindo a *Internet*, reconhecendo a acessibilidade digital como elemento central para a participação plena na sociedade. Essa diretriz converge diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 10, que busca reduzir as desigualdades e promover a inclusão social, econômica e política para todos, independentemente da idade, raça, gênero, deficiência, etnia, religião, origem ou condição econômica (ONU Brasil, 2024; Silva, 2022).

As deficiências podem ser classificadas em deficiência Auditivo, deficiência visual, deficiência de fala, deficiência física e deficiência cognitiva e de aprendizagem. A Tabela 1 fornece um resumo sobre os tipos de deficiências e seus Impactos na Acessibilidade Web.

Tipo de Deficiência	Definição/Descrição	Impacto na Acessibilidade Web
Auditivo	Perda parcial ou total da capacidade de ouvir, dificultando a comunicação em ambientes sem suporte adequado.	Falta de legendas, transcrições ou alternativas visuais dificulta o acesso a conteúdos multimídia.
Visual	Inclui baixa visão, daltonismo ou cegueira, que impactam a forma como as informações visuais são percebidas.	Imagens sem texto alternativo, contraste insuficiente ou conteúdos não redimensionáveis representam grandes barreiras.
Físico	Limitações ou ausência de mobilidade que dificultam o uso de dispositivos como teclado e mouse.	Ferramentas que exigem cliques precisos ou áreas pequenas dificultam a navegação para pessoas com mobilidade reduzida.
Cognitivo e Aprendizagem	Impacta habilidades como memória, atenção, comunicação e aprendizado, variando de leve a severo.	Textos longos, interfaces complexas ou exigências de memorização prejudicam o acesso e a interação.
Deficiências de Fala	Dificuldades na articulação de sons, palavras ou frases por motivos físicos, neurológicos ou emocionais.	Dependência de serviços baseados em voz sem alternativas textuais limita a comunicação e o uso de plataformas digitais.

FONTE: Adaptado de (World wide web consortium, 2024a). *How People with Disabilities Use the Web*.

Assim, a acessibilidade digital é compreendida não apenas como um requisito técnico, mas como uma condição indispensável para a efetivação da cidadania e para a construção de uma sociedade mais inclusiva e equitativa.

2.2. Diretrizes WCAG

A organização internacional *World Wide Web Consortium* (W3C), fundada por Tim Berners-Lee em 1994, é responsável por definir padrões técnicos que orientam o desen-

volvimento da *Web* em escala global, com foco na interoperabilidade, acessibilidade e inclusão digital (World wide web consortium, 2024b).

No campo da acessibilidade, o W3C criou, em 1997, a *Web Accessibility Initiative* (WAI), um grupo de trabalho dedicado a garantir que a Web seja utilizável por todas as pessoas, independentemente de suas limitações físicas, sensoriais ou cognitivas (World wide web consortium, 1997)

Entre os principais resultados da WAI, destacam-se as Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (*Web Content Accessibility Guidelines* – WCAG), cuja primeira versão (WCAG 1.0) foi publicada em 1999. Posteriormente, novas versões foram lançadas para acompanhar a evolução tecnológica: a WCAG 2.0, em 2008, trouxe critérios mais objetivos e testáveis; a WCAG 2.1, em 2018, ampliou o escopo para dispositivos móveis e usuários com deficiências cognitivas; e, mais recentemente, a WCAG 2.2, publicada em 2023, consolidou recomendações adicionais voltadas à usabilidade e acessibilidade em diferentes contextos de navegação (World wide web consortium, 2018, 2023).

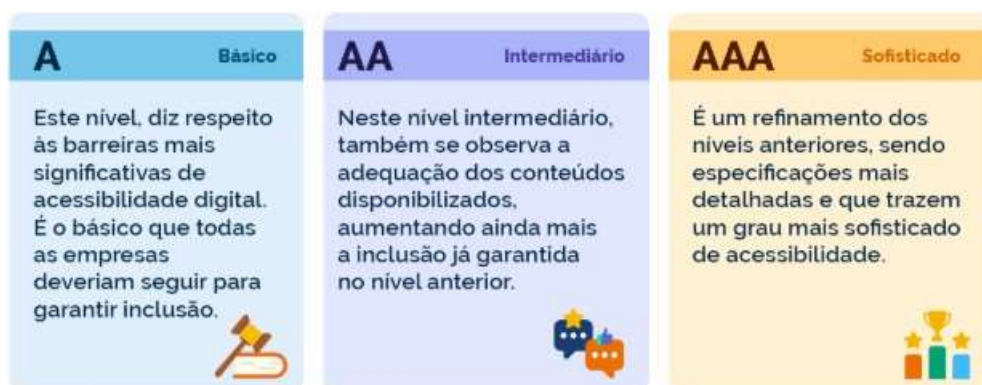
Essas diretrizes são desenvolvidas de forma colaborativa por especialistas em acessibilidade, pesquisadores, representantes da indústria tecnológica e membros da sociedade civil, garantindo um processo participativo e baseado em consenso internacional. Elas fornecem orientações técnicas e práticas para criação de conteúdos digitais mais inclusivos, estruturados a partir dos princípios POUR (Perceptível, Operável, Compreensível e Robusto), que definem os fundamentos para a construção de interfaces acessíveis e compatíveis com tecnologias assistivas (WCAG.com, 2024).

As WCAG estão fundamentadas em quatro princípios conhecidos como POUR que a Web deve seguir para ser considerada acessível:



Fonte: Adaptado de post no LinkedIn — “Sua empresa está seguindo as diretrizes de acessibilidade de conteúdo”.

Além disso, as WCAG definem três níveis de conformidade, que indicam diferentes graus de acessibilidade:



Fonte: Adaptado de post no LinkedIn — “Sua empresa está seguindo as diretrizes de acessibilidade de conteúdo”.

2.3. Leis brasileiras sobre acessibilidade

A Lei brasileira de inclusão (LBI), alinhando-se às melhores práticas e diretrizes internacionais de acessibilidade, sancionada em 2015 a Lei n.º 13.146/2015, a fim de garantir a acessibilidade para pessoas com deficiência, incluindo no âmbito digital, em seu Art. 63 diz que:

é obrigatória a acessibilidade nos sítios da internet mantidos por empresas com sede ou representação comercial no país ou por órgãos de governo, para uso da pessoa com deficiência, garantindo-lhe acesso às informações disponíveis, conforme as melhores práticas e diretrizes de acessibilidade adotadas internacionalmente. Brasil (2015)

Essa lei visa garantir que pessoas com deficiência possam ter acesso ao âmbito digital, conforme as melhores práticas e diretrizes de acessibilidade.

No Brasil, muitos *sites*, tanto do setor público quanto privado, não estão de acordo com as diretrizes e as legislações. Existe uma lacuna relevante entre aquilo que é prescrito e aquilo que é praticado (Movimento web para todos, 2024).

2.4. Inteligência Artificial e *Machine Learning*

A Inteligência Artificial (IA) é um ramo da ciência da computação voltado ao desenvolvimento de sistemas capazes de simular habilidades humanas, como raciocínio, aprendizado e percepção (Russell; Norvig, 2021; Goodfellow; Bengio; Courville, 2016). Dentro desse campo, o *Machine Learning* (ML) destaca-se como um subconjunto que se concentra na criação de modelos capazes de identificar padrões em dados e melhorar seu desempenho em tarefas específicas sem necessidade de programação explícita (Mitchell, 1997).

No contexto da acessibilidade digital, a IA vem se mostrando uma ferramenta estratégica para apoiar desenvolvedores e usuários. Entre suas aplicações mais relevantes, estão a detecção de problemas, a geração automática de conteúdos acessíveis e a oferta de recomendações personalizadas.

Para ilustrar essas aplicações de forma clara, a Tabela 2 apresenta exemplos de como algoritmos de IA e ML podem ser utilizados na prática. Cada linha da tabela des-

creve uma aplicação específica, explicando seu objetivo e citando referências relevantes da literatura, permitindo ao leitor compreender não apenas o que é possível fazer, mas também como essas soluções vêm sendo implementadas.

Aplicação de IA	Descrição	Exemplos na literatura
Detecção de desconformidades	Identificação de padrões que não atendem às diretrizes da WCAG por meio da análise de código ou DOM.	Ferramentas experimentais que usam ML para validar estruturas semânticas de páginas web (W3C WAI, 2024a).
Geração de descrições automáticas	Uso de visão computacional para sugerir textos alternativos em imagens.	Sistemas que empregam redes neurais para gerar <i>alt text</i> em imagens (Parmar et al., 2022).
Sugestão de reparos	Algoritmos de ML que oferecem recomendações de correções para problemas de acessibilidade.	Propostas que sugerem paletas de cores adequadas para contraste de acordo com as WCAG (W3C WAI, 2024a).
Análise preditiva	Modelos que antecipam desconformidades prováveis em determinados padrões de design.	Estudos que analisam grandes bases de páginas para prever falhas de acessibilidade recorrentes (Parmar et al., 2022).
Personalização de recomendações	Adaptação dinâmica de sugestões conforme o perfil ou contexto do usuário.	Sistemas de recomendação aplicados à acessibilidade digital (W3C WAI, 2024a).

Fonte: Elaborado pela autora com base em W3C (W3C WAI, 2024a) e Parmar et al. (Parmar et al., 2022).

Após observar os exemplos da tabela, é possível notar que a IA oferece soluções tanto para tarefas automatizadas, como a geração de *alt text*, quanto para tarefas que envolvem análise preditiva e personalização de recomendações. Esses recursos permitem que ferramentas como o SICAPI combinem diferentes técnicas de ML para apoiar desenvolvedores na criação de conteúdos digitais mais acessíveis e inclusivos.

Por exemplo, o SICAPI integra modelos que analisam o DOM das páginas web e sugerem correções automatizadas. Ao identificar imagens sem texto alternativo, o sistema propõe *alt text* com base em padrões aprendidos de dados rotulados previamente. Em situações de baixo contraste de cores, recomenda combinações que atendam aos critérios da WCAG 2.1, proporcionando conformidade inicial automatizada, com possibilidade de revisão humana para validação final. Dessa forma, a IA no SICAPI torna a análise mais eficiente, precisa e automatizada, ampliando o suporte ao desenvolvedor e promovendo a acessibilidade digital.

Entre as bibliotecas utilizadas, destaca-se o *TensorFlow.js*, um *framework* de ML desenvolvido pelo Google que permite a criação, treinamento e execução de modelos diretamente em aplicações *JavaScript* (Google, 2025). Com suporte a execução no navegador e em *Node.js*, o TensorFlow.js oferece desempenho otimizado, inclusive com GPU, e modelos pré-treinados para visão computacional e processamento de linguagem natural, tornando-o uma ferramenta versátil tanto para pesquisa quanto para aplicações práticas em acessibilidade digital.

2.5. Ferramentas similares

Diversas ferramentas apoiam a avaliação de conformidade de páginas web às *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG). Elas diferem quanto ao mecanismo de análise (código/HTML, DOM renderizado, sobreposição visual), formato de saída (relatório técnico, indicadores na página, API), possibilidades de integração com *pipelines* de CI/CD e cobertura das versões da WCAG. Importa frisar que nenhuma ferramenta automática determina sozinha a acessibilidade: elas identificam potenciais desconformidades e exigem revisão humana para confirmação, priorização e correção (W3C WAI, 2024b).

O AChecker é um verificador on-line que processa páginas por *URL*, envio de arquivo ou colagem de código-fonte. Seu mecanismo é baseado em regras determinísticas aplicadas sobre a marcação HTML para detectar padrões associados a requisitos da WCAG (histórica 1.0 e 2.0). A ferramenta classifica os achados como erros, alertas e itens que exigem *verificação manual*. A saída é um relatório estruturado por diretriz/critério, com descrições e apontamentos para consulta adicional. Como é centrado em análise estática de página individual, não executa JavaScript de forma dinâmica, nem varre sites inteiros por padrão. Limitações: foco em páginas isoladas; cobertura nativa historicamente associada à WCAG 2.0; necessidade de validação manual; possibilidade de *falsos positivos/negativos*. (Inclusive design institute, 2023)

O WAVE é uma extensão de navegador (Chrome/Firefox/Edge) e serviço web que realiza sobreposição visual dos achados diretamente na página analisada. Ícones e painéis laterais destacam *landmarks* ARIA, estrutura de títulos, textos alternativos, links redundantes, contrastes de cor e outros aspectos de navegabilidade. O foco do WAVE é tornar explícito onde a desconformidade ocorre no *layout*, acelerando a triagem por equipes de conteúdo, design e desenvolvimento. Há ferramentas associadas para análise em larga escala (*site-wide*) oferecidas por parceiros, mas a extensão em si atua página a página. Limitações: os resultados não equivalem a um “veredito” de acessibilidade; cenários de contraste com gradientes, transparências ou filtros CSS podem exigir medições complementares; continua sendo necessária avaliação humana. (WEBAIM, 2025)

O TAW é uma plataforma on-line que verifica páginas em relação às WCAG, gerando relatórios técnicos com classificação por prioridade (A, AA, AAA) e categorização dos achados por tipo de problema. A interface facilita a navegação pelos itens detectados e a exportação de resultados. Houve, historicamente, uma versão *desktop* legada. Limitações: escopo automatizado (demanda revisão manual); integração nativa limitada em *pipelines* de desenvolvimento; a versão *desktop* é obsoleta (quando comparada ao serviço on-line atual). (CTIC, 2025)

O axe-core é uma biblioteca *open source* para testes automatizados de acessibilidade. Pode ser executado no navegador (ou em modo *headless*) e se integra a *frameworks* de teste (*Jest*, *Mocha*, *Jasmine*), a *test runners* de interface (*Selenium*, *Cypress*, *Playwright*) e a *pipelines* de CI/CD. A saída é programática (JSON/logs) e mapeia regras a critérios da WCAG 2.x. O *ecosystem* possui CLIs e *plugins* que geram relatórios, mas o núcleo do *axe-core* foca no motor de verificação. Limitações: requer conhecimento técnico para configuração e interpretação; relatórios gerenciais dependem de integrações; não substitui inspeção manual nem sugere reparos “inteligentes”. (Deque systems, 2025)

O SICAPI integra verificação automatizada a partir do DOM renderizado (com

Selenium WebDriver) e sugestões inteligentes de correção baseadas em *machine learning* (*TensorFlow.js*) para casos específicos (por exemplo, contraste de cor e alternativas textuais). Registra histórico de análises em *SQLite*, oferecendo rastreabilidade e comparação temporal dos resultados por página/domínio. Gera relatórios consolidados por critério (A/AA), além de priorização por impacto estimado. Limitações esperadas: cobertura de regras dependente do *engine* utilizado; necessidade de curadoria contínua dos modelos de IA; *trade-offs* de desempenho ao executar páginas dinâmicas.

A Tabela 3 apresenta a síntese comparativa no mesmo padrão das demais tabelas deste capítulo.

Características	AChecker	WAVE	TAW	axe-core	SICAPI (proposta)
Níveis WCAG	1.0, 2.0 (A–AAA)	2.1 (A, AA)	2.1 (A–AAA)	2.2 (A–AAA) + Best Practices	2.1 (A, AA)
Tipo de Análise	Estática (URL/código)	Visual (extensão)	Estática (URL)	Programática (API)	Dinâmica (Selenium DOM)
Suporte a Conteúdo Dinâmico (JS)	Não	Limitado	Não	Sim (com Selenium/Cypress)	Sim (via Selenium WebDriver)
Sugestões de Reparo	Sim (regras fixas)	Não (aponta erro)	Não (remete à doc.)	Não (explica erro)	Sim (IA personalizada)
Uso de IA	Não	Não	Não	Não	Sim (TensorFlow.js)
Histórico de Análises	Não	Não	Não	Não	Sim (<i>SQLite</i>)
Facilidade de Uso	Média	Alta	Média	Baixa	Alta
Custo	Gratuito	Gratuito	Gratuito	Gratuito (<i>open source</i>)	Gratuito (<i>open source</i>)
Principais Limitações	Páginas isoladas; necessidade de revisão manual	Página a página; avaliação humana ainda necessária	Integração limitada; versão desktop obsoleta	Necessita conhecimento técnico; não sugere correções	Cobertura dependente do engine; curadoria de modelos; trade-offs de desempenho

Fonte: elaborado pela autora com base em AChecker (Inclusive design institute, 2023), WAVE (WEBAIM, 2025), TAW (CTIC, 2025) e axe-core (Deque systems, 2025).

3. Metodologia

O desenvolvimento do *SICAPI* seguiu uma abordagem iterativa e incremental, inspirada em metodologias ágeis, como o *Scrum*. Essa escolha se deve à necessidade de integração contínua de diferentes tecnologias, bem como à realização de testes constantes para garantir a qualidade do sistema. A cada ciclo de desenvolvimento, novas funcionalidades eram implementadas, testadas e refinadas, permitindo ajustes rápidos frente às necessidades identificadas.

A metodologia ágil foi escolhida por apresentar vantagens importantes para projetos que envolvem tecnologias emergentes, como inteligência artificial e análise automatizada de acessibilidade: permite maior flexibilidade frente a mudanças, promove entrega

continua de valor e possibilita a detecção precoce de problemas, alinhando-se aos objetivos do *SICAPI* de fornecer um sistema confiável e escalável.

3.1. Tecnologias utilizadas

O *SICAPI* integra diversas tecnologias que garantem sua funcionalidade, performance e escalabilidade. As ferramentas e bibliotecas escolhidas foram selecionadas com base em sua robustez, compatibilidade com o projeto e capacidade de automatizar a análise de acessibilidade e aplicar técnicas de inteligência artificial. As principais tecnologias utilizadas são:

- *Python*: Linguagem de programação principal, escolhida pela facilidade de integração com bibliotecas de análise de dados, automação de testes e desenvolvimento rápido de *backend*.
- *Flask*: *Framework web* em Python, utilizado para criar uma aplicação modular, escalável e de rápida prototipagem.
- *Selenium WebDriver*: Biblioteca para automação de navegação em páginas web, permitindo a análise de elementos dinâmicos renderizados em JavaScript.
- *axe-core*: Biblioteca de código aberto para testes automatizados de acessibilidade, baseada nas diretrizes WCAG, garantindo confiabilidade nos resultados.
- *SQLite*: Banco de dados leve e local, utilizado para armazenar resultados das análises e histórico de verificações.
- *TensorFlow.js*: Biblioteca para construção e execução de modelos de *Machine Learning* no navegador, possibilitando sugestões de correções baseadas em padrões de desconformidade.
- *JavaScript*: Linguagem utilizada no *frontend* para implementação da lógica de interação e execução de inteligência artificial no navegador.
- *BeautifulSoup* e *Requests*: Bibliotecas para rastreamento e extração de dados da web, permitindo análise eficiente do código HTML.

A integração dessas tecnologias possibilita um fluxo de trabalho automatizado, desde a captura de informações na web até a geração de relatórios de desconformidade de acessibilidade, garantindo que o *SICAPI* seja ao mesmo tempo eficiente, preciso e escalável.

3.2. Ciclo de desenvolvimento

O desenvolvimento do *SICAPI* seguiu um ciclo iterativo composto por três etapas principais, representadas no diagrama da Figura 4. Cada etapa foi planejada para garantir a integração eficiente das tecnologias, a modularidade do sistema e a validação contínua dos resultados.

- **Planejamento**: Nesta etapa, foram identificados os requisitos técnicos e funcionais do sistema. Também foram definidas as prioridades de implementação e os critérios de sucesso para cada funcionalidade.
- **Desenvolvimento**: O sistema foi construído de forma modular, criando componentes independentes que facilitam futuras manutenções e evoluções. A integração das bibliotecas de acessibilidade (*axe-core*, *Selenium*) e de inteligência artificial (*TensorFlow.js*) foi realizada progressivamente, permitindo testes contínuos a cada módulo desenvolvido.

- **Testes e Validação:** Para assegurar a confiabilidade do *SICAPI*, foram realizados testes comparativos com outras ferramentas de análise de acessibilidade, como *AChecker*, *WAVE* e *TAW*. Essa etapa permitiu validar os resultados, identificar possíveis melhorias e refinar o sistema antes de novas implementações.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O diagrama fornece uma visão geral do fluxo contínuo entre as etapas, evidenciando como cada fase alimenta a seguinte e como o processo é iterativo, permitindo ajustes constantes e melhoria contínua do sistema.

3.3. Critérios de comparação com outras ferramentas

Para avaliar a eficácia do *SICAPI*, foram definidos alguns critérios de comparação com as outras ferramentas de análise de acessibilidade *web*. As ferramentas selecionadas para comparação foram *AChecker*, *WAVE* e *TAW*. Os critérios de comparação incluem:

- **Precisão na detecção de desconformidades:** Compara a capacidade de identificar corretamente as desconformidades de acessibilidade de acordo com as diretrizes da *WCAG*.
- **Sugestões de correção:** Verifica se a ferramenta sugere correções e como sugere as correções para as desconformidades identificadas.
- **Facilidade de uso:** Analisa a interface do usuário, focando na simplicidade e na interatividade para utilizar as ferramentas.
- **Cobertura das WCAG:** Avalia a abrangência das ferramentas nos diferentes níveis de conformidade da *WCAG* (A, AA, AAA).

A Tabela 4 apresenta uma análise comparativa entre as principais ferramentas de avaliação de acessibilidade *web*, evidenciando seus pontos fortes e limitações em diferentes aspectos técnicos. Observa-se que ferramentas tradicionais, como *AChecker*, *WAVE* e *TAW*, concentram-se predominantemente em análises estáticas ou visuais, o que limita a detecção de elementos gerados dinamicamente em páginas modernas. Além disso, essas ferramentas geralmente não oferecem orientações detalhadas de correção, restringindo-se a apontar erros ou redirecionar o usuário para documentação complementar, o que pode dificultar a aplicação prática das recomendações.

Já o *axe-core* representa um avanço importante por possibilitar análises programáticas via API e pelo suporte a conteúdos dinâmicos, embora sua complexidade técnica exija maior conhecimento por parte do desenvolvedor. Ainda assim, a ausência de mecanismos de apoio direto ao usuário final reduz a facilidade de uso, tornando-o menos acessível para profissionais sem formação técnica avançada.

Em contrapartida, o *SICAPI* diferencia-se por adotar uma abordagem dinâmica, utilizando o *Selenium WebDriver* para interpretar o DOM de páginas que dependem de JavaScript, garantindo uma avaliação mais próxima da experiência real do usuário. A

Características	AChecker	WAVE	TAW	axe-core	SICAPI (proposta)
Níveis WCAG	1.0, 2.0 (A-AAA)	2.1 (A, AA)	2.1 (A-AAA)	2.2 (A-AAA) + Best Practices	2.1 (A, AA)
Tipo de Análise	Estática (URL/código)	Visual (extensão)	Estática (URL)	Programática (API)	Dinâmica (Selenium DOM)
Suporte a Conteúdo Dinâmico (JS)	Não	Limitado	Não	Sim (com Selenium)	Sim (via Selenium WebDriver)
Sugestões de Reparo	Sim (regras fixas)	Não (aponta erro)	Não (remete à doc)	Não (explica erro)	Sim (IA personalizada)
Uso de IA	Não	Não	Não	Não	Sim (TensorFlow.js)
Histórico de Análises	Não	Não	Não	Não	Sim (SQLite)
Facilidade de Uso	Média	Alta	Média	Baixa	Alta
Custo	Gratuito	Gratuito	Gratuito	Gratuito (open source)	Gratuito (open source)

Fonte: Elaborado pela autora (2025), com base em (Inclusive design institute, 2023; WEBAIM, 2025; CTIC, 2025; Deque systems, 2025).

integração de técnicas de inteligência artificial com *TensorFlow.js* amplia significativamente o potencial da ferramenta, permitindo não apenas identificar desconformidades, mas também sugerir correções personalizadas, o que representa um diferencial em relação às soluções já existentes.

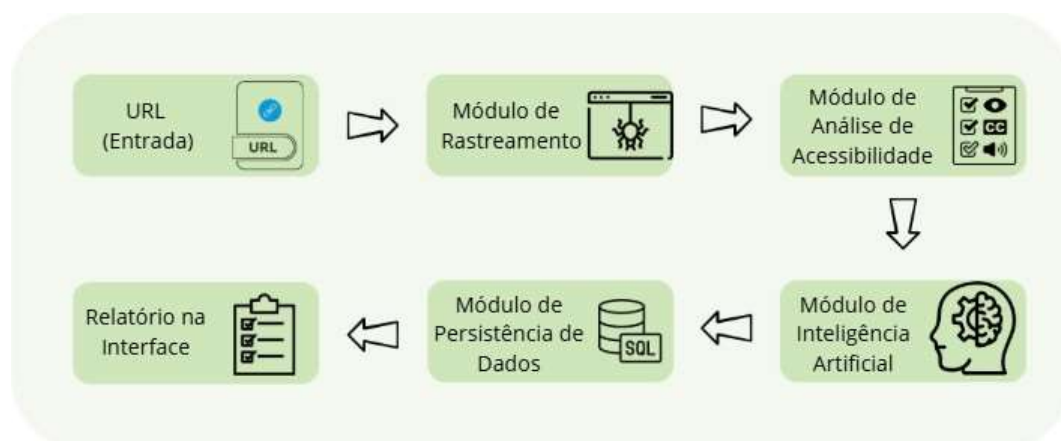
Outro ponto relevante do *SICAPI* é o registro histórico das análises em banco de dados *SQLite*, recurso inexistente nas demais ferramentas, mas essencial para acompanhamento de melhorias ao longo do tempo. Dessa forma, o sistema alia precisão técnica, inovação e usabilidade, oferecendo uma solução prática e eficiente que busca superar as principais lacunas identificadas nas ferramentas disponíveis no mercado.

3.4. Organização da arquitetura do sistema

A arquitetura do *SICAPI* foi projetada de forma modular, o que facilita a manutenção, a escalabilidade e a evolução de cada componente de forma independente. Cada módulo desempenha um papel específico dentro do fluxo de funcionamento do sistema, desde a entrada da URL até a apresentação do relatório final. A Figura 5 ilustra a organização e interação entre os módulos que compõem o sistema.

Os módulos do *SICAPI* são descritos a seguir, com as respectivas ferramentas utilizadas:

- **Módulo de rastreamento:** Responsável por realizar as requisições HTTP e obter o conteúdo das páginas indicadas pelo usuário. Utiliza a biblioteca *Requests* para a comunicação com o servidor e a *BeautifulSoup* para analisar e estruturar o HTML. Esse módulo garante que o sistema capture dados de forma eficiente, mesmo em páginas com estruturas complexas.
- **Módulo de análise de acessibilidade:** Realiza a verificação das desconformidades em relação às diretrizes da *WCAG*. Para isso, utiliza o *Selenium WebDriver*,



Fonte: Autoria própria (2024).

que simula a navegação real em navegadores, permitindo avaliar conteúdos dinâmicos renderizados em *JavaScript*. Em conjunto, a biblioteca *axe-core* é injetada no DOM para executar testes automatizados de acessibilidade reconhecidos mundialmente.

- **Módulo de inteligência artificial:** Diferencial central do sistema, esse módulo aplica modelos de *Machine Learning* diretamente no navegador utilizando o *TensorFlow.js*. O modelo foi treinado com descrições de desconformidades de acessibilidade, permitindo reconhecer padrões e sugerir correções adequadas. A aplicação de redes neurais sequenciais possibilita classificar os problemas e associar soluções práticas, como recomendar contraste de cores adequado, inclusão de textos alternativos ou reestruturação da navegação. O fato de a IA rodar no próprio navegador garante privacidade dos dados e maior velocidade na resposta.
- **Módulo de persistência de dados:** Utiliza o banco *SQLite* para armazenar resultados de análises, incluindo informações como a URL analisada, data da execução, número de desconformidades e sugestões da IA. Esse registro histórico permite acompanhar padrões recorrentes de erro e avaliar a evolução da acessibilidade ao longo do tempo.
- **Módulo de interface de usuário:** Desenvolvido com *Flask* no *backend* e recursos em *JavaScript* no *frontend*, fornece ao usuário uma interface simples e intuitiva para inserir URLs e visualizar relatórios técnicos. A interface também incorpora recursos de acessibilidade, como ajustes de contraste, redimensionamento de fonte e compatibilidade com leitores de tela, de forma a reforçar o compromisso do projeto com a inclusão digital.

Assim, a arquitetura modular do *SICAPI* integra de forma coerente bibliotecas robustas como *Requests*, *BeautifulSoup*, *Selenium WebDriver*, *axe-core*, *SQLite* e *TensorFlow.js*, resultando em uma solução completa. O uso de *Machine Learning* confere ao sistema a capacidade de ir além da simples detecção de desconformidades, transformando dados em recomendações concretas e úteis para o aprimoramento da acessibilidade digital.

4. Resultados

Neste estudo, foi proposto o desenvolvimento e o teste do *SICAPI*, realizando-se uma avaliação comparativa com outras ferramentas consolidadas no mercado, como *AChecker*, *WAVE* e *TAW*. Os resultados apresentados a seguir buscam interpretar os dados coletados, evidenciar os diferenciais da solução proposta e discutir os avanços e limitações observados.

4.1. Comparação entre ferramentas

As ferramentas de análise de acessibilidade utilizadas para comparação foram: *AChecker*, *WAVE*, *TAW* e o *SICAPI*. Cada uma delas foi aplicada às páginas iniciais dos *websites* das universidades federais do Nordeste do Brasil, com o objetivo de avaliar a capacidade de identificar desconformidades em conformidade com as diretrizes da WCAG. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos.

Estado	Universidade	WAVE	TAW	AChecker	SICAPI
AL	UFAL	13	51	36	75
BA	UFBA	7	37	27	36
CE	UFC	11	48	36	10
MA	UFMA	11	37	25	38
PB	UEPB	18	63	38	16
PE	UFPE	FALHA	46	28	38
PI	UFPI	10	47	27	71
RN	UFRN	10	41	31	44
SE	UFS	15	FALHA	32	35
Média NE	—	11,75*	43,5*	31,56	40,33

Fonte: Dados levantados em 2024. *Valores com “FALHA” foram desconsiderados no cálculo das médias.*

A análise dos resultados mostra diferenças significativas entre as ferramentas avaliadas. O *WAVE* apresentou a menor média (11,75), refletindo suas limitações para processar conteúdos dinâmicos, já que seu foco está em verificações estáticas e visuais. O *TAW*, por outro lado, alcançou a maior média (43,5), evidenciando ampla cobertura na detecção de desconformidades, mas sem oferecer recomendações de correção. O *AChecker* ficou em posição intermediária (31,56), destacando-se pela consistência dos relatórios, embora baseado em regras fixas e sem suporte a interatividade.

O *SICAPI* apresentou média de 40,33, aproximando-se do desempenho do *TAW* e superando tanto o *AChecker* quanto o *WAVE*. Em casos específicos, como nas análises da UFAL e da UFPI, a ferramenta superou amplamente as demais, identificando um número maior de desconformidades. Entretanto, em alguns cenários, como no site da UFC, o resultado foi inferior, evidenciando que o desempenho pode variar conforme a estrutura e a complexidade da página.

O diferencial do *SICAPI* não está apenas na quantidade de desconformidades detectadas, mas na qualidade do diagnóstico. Diferente das demais ferramentas, o sistema integra inteligência artificial para sugerir soluções às falhas encontradas, o que amplia seu valor prático ao fornecer orientações de reparo e não apenas listagens de erros. Além disso, o sistema demonstrou maior robustez: enquanto *WAVE* e *TAW* apresentaram falhas de execução em algumas páginas (UFPE e UFS), o *SICAPI* conseguiu realizar todas as análises com êxito.

4.2. Limitações observadas

Apesar dos resultados promissores, algumas limitações foram identificadas. A avaliação foi restrita às páginas iniciais dos *sites* institucionais, não contemplando portais internos ou seções mais complexas. Além disso, a aplicação do *TensorFlow.js* para executar modelos de *Machine Learning* diretamente no navegador, embora inovadora, pode ter limitações relacionadas à performance, dependendo do hardware e do navegador utilizado. Ainda assim, a proposta se mostra consistente como alternativa para ampliar a acessibilidade digital, ao unir análise dinâmica, automação de testes e recomendações inteligentes orientadas por IA.

5. Discussão e Melhorias

Os resultados obtidos demonstram que o *SICAPI* apresenta-se como uma alternativa robusta e funcional para a análise de acessibilidade *web*, especialmente quando comparado a ferramentas tradicionais que apenas reportam problemas. O principal diferencial do *SICAPI* é a combinação entre análise dinâmica (via *Selenium* + *axe-core*) e a geração de recomendações automatizadas apoiadas por modelos de *machine learning* executados no navegador (*TensorFlow.js*). Essa abordagem agrega valor prático ao fornecer não apenas diagnósticos, mas também caminhos de correção para as desconformidades identificadas.

Apesar das vantagens, a avaliação revelou pontos que podem ser aprimorados para tornar o *SICAPI* mais preciso e competitivo. Entre as principais necessidades de melhoria destacam-se:

- **Aprimoramento do modelo de IA:** aumentar a base de treinamento e melhorar a acurácia das sugestões de correção, ampliando a capacidade de detecção em cenários mais complexos.
- **Cobertura das diretrizes WCAG:** expandir a análise para contemplar níveis mais avançados (AAA), tornando a ferramenta aplicável em contextos que exigem maior rigor.
- **Robustez e escalabilidade:** otimizar o desempenho em páginas dinâmicas e garantir análises rápidas mesmo em grandes volumes de sites.

Em síntese, o *SICAPI* já demonstra seu potencial como solução inovadora, unindo automação de testes e inteligência artificial. Contudo, a implementação das melhorias sugeridas é fundamental para que a ferramenta evolua de uma prova de conceito para uma solução madura, mais confiável e de maior impacto na promoção da acessibilidade digital.

6. Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento do *SICAPI*, um sistema integrado para análise da conformidade de acessibilidade em portais *web*, apoiado por técnicas de inteligência

artificial (*machine learning*) para sugerir correções automáticas com base nas diretrizes da *WCAG*. A validação, realizada por meio de comparações com ferramentas consolidadas como *AChecker*, *WAVE* e *TAW*, demonstrou que o *SICAPI* oferece resultados consistentes, com destaque para a análise de conteúdos dinâmicos — um ponto crítico em soluções tradicionais. Seu principal diferencial é a integração entre análise técnica e recomendações automatizadas, tornando-se uma proposta inovadora e promissora no cenário da acessibilidade digital. Assim, o *SICAPI* contribui de forma significativa para a inclusão social, ao facilitar a adoção de boas práticas por desenvolvedores e instituições.

7. Trabalhos Futuros

Embora os resultados tenham sido positivos, o *SICAPI* ainda pode ser expandido e aprimorado. Entre as principais direções futuras destacam-se:

- **Cobertura ampliada das diretrizes WCAG:** incluir a análise de critérios do nível AAA, aumentando a aderência a padrões mais rigorosos de acessibilidade.
- **Análise de portais completos:** permitir a varredura de múltiplas páginas de um mesmo *site*, produzindo relatórios abrangentes e integrados.
- **Aprimoramento da interface:** desenvolver relatórios mais visuais, com dashboards, gráficos e indicadores de severidade, facilitando a interpretação dos resultados.
- **Integração com técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN):** ampliar a capacidade de avaliação semântica, especialmente em critérios relacionados à clareza e compreensão textual.

Essas melhorias podem consolidar o *SICAPI* como uma ferramenta de referência no apoio à construção de uma *web* mais inclusiva e acessível.

Referências

BIGDATACORP. *Acessibilidade nos sites brasileiros 2024*. 2024. Disponível em: <https://blog.bigdatacorp.com.br/acessibilidade-nos-sites-brasileiros-2024>. Acesso em: 21 junho 2025.

BRASIL. *Lei nº13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência)*. 2015. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2015/lei-13146-6-julho-2015-781174-norma-actualizada-pl.pdf>. Acesso em: 3 junho 2025

Comitê gestor da internet no Brasil. *TIC Domicílios 2021: Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros*. São Paulo: [s.n.], 2022. Livro eletrônico. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20221121125504/tic_domicilios_2021_livro_eletronico.pdf. Acesso em: 7 junho 2025

CTIC. *TAW: Web Accessibility and W3C Standardization Services*. 2025. Disponível em: <https://www.tawdis.net>. Acesso em: 2 junho 2025.

Deque systems. *axe-core: Accessibility engine for automated testing*. 2025. Disponível em: <https://github.com/dequelabs/axe-core>. Acesso em: 9 junho 2025.

E-commerce Brasil. *Relatórios sobre o crescimento do comércio eletrônico no Brasil*. 2023. Disponível em: <https://www.ecommercebrasil.com.br> . Acesso em: 10 maio 2025.

Goodfellow, I.; Bengio, Y.; Courville, A. *Deep Learning*. 2016. Disponível em: <https://www.deeplearningbook.org/> . Acesso em: 9 junho 2025.

Google. *TensorFlow.js: Machine Learning for JavaScript Developers*. 2025. Disponível em: <https://www.tensorflow.org/js> . Acesso em: 17 junho 2025.

Inclusive design institute. *AChecker Web Accessibility Checker*. 2023. Disponível em: <https://achecker.ca/> . Acesso em: 30 maio 2025.

IBGE Instituto brasileiro de geografia e estatística. *Acesso à internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2021*. Rio de Janeiro, 2022. 115 p. ISBN 9788524045431. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/f070dbf1d5a8e94ff1d37b7b516e0eb5.pdf Acesso em: 13 maio 2025

IBGE Instituto brasileiro de geografia e estatística. *Pessoas com deficiência têm menor acesso à educação, ao trabalho e à renda*. 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37317-pessoas-com-deficiencia-tem-menor-acesso-a-educacao-ao-trabalho-e-a-renda> . Acesso em: 14 maio 2025.

IBGE Instituto nacional de estudos e pesquisas educacionais anísio teixeira. *Ensino a distância cresce 474% em uma década*. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/assuntos/noticias/2022/ensino-a-distancia-cresce-474-em-uma-decada> . Acesso em: 06 Maio 2025

Mitchell, T. M. *Machine Learning*. 1997. Disponível em: <http://www.cs.cmu.edu/~tom/mlbook.html> . Acesso em: 13 junho 2025.

Movimento web para todos. *Ausência de fiscalização contribui para a falta de acessibilidade em sites do Brasil, aponta estudo*. 2024. Disponível em: <https://mwpt.com.br/ausencia-de-fiscalizacao-contribui-para-a-falta-d%20e-acessibilidade-em-sites-do-brasil-aponta-estudo/> . Acesso em: 20 maio 2025.

ONU Brasil. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> . Acesso em: 15 maio 2025.

ONU Organizações das nações unidas. *Convenção sobre os direitos das pessoas com deficiência*. 2006. Disponível em: <https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf> . Acesso em: 15 maio 2025.

Parmar, D. et al. *Artificial Intelligence for Web Accessibility: A Review*. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3530190.3534805> . Acesso em: 13 junho 2025.

Pereira, M. M.; Farina, R. M. Acessibilidade na web. *Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar*, v. 3, n. 6, 2022. Disponível em: <https://share.google/H8mj6pjVr5t50MQVJ>. Acesso em: 14 maio 2025.

Russell, S.; Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 2021. Disponível em: <https://aima.cs.berkeley.edu/> . Acesso em: 9 junho 2025.

Silva, J. S. S. d. Deficiência, diversidade e diferença: idiosincrasias e divergências conceituais. *Educação em Revista*, Belo Horizonte, v. 38, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-4698368536551>. Acesso em: 14 maio 2025.

Telebrasil. *Relatório de tendências do uso da Internet no Brasil*. 2023. Disponível em: <https://www.telebrasil.org.br> . Acesso em: 14 maio 2025.

W3C WAI. *Artificial Intelligence (AI) and Accessibility*. 2024. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/test-evaluate/tools/selecting/>. Acesso em: 13 junho 2025.

W3C WAI. *Selecting Web Accessibility Evaluation Tools*. 2024. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/test-evaluate/tools/selecting/>. Acesso em: 9 junho 2025.

WCAG.com. *What is WCAG?* 2024. Disponível em: <https://www.wcag.com/resource/what-is-wcag/> . Acesso em: 30 maio 2025.

WEBAIM. *WAVE Web Accessibility Evaluation Tools*. 2025. Disponível em: <https://wave.webaim.org/>. Acesso em: 1 junho 2025.

W3C World wide web consortium. *Web Accessibility Initiative (WAI)*. 1997. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/> . Acesso em: 21 junho 2025.

W3C World wide web consortium. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1*. 2018. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/> .Acesso em: 14 junho 2025.

W3C World wide web consortium. *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2*. 2023. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/WCAG22/> . Acesso em: 17 junho 2025.

W3C World wide web consortium. *How People with Disabilities Use the Web*. 2024. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/people-use-web/abilities-barriers/> . Acesso em: 30 maio 2025.

W3C World wide web consortium. *World Wide Web Consortium (W3C)*. 2024. Disponível em: <https://www.w3.org/> . Acesso em: 28 maio 2025.