



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE RUSSAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**PEDRO HENRIQUE BARRETO DOS SANTOS**

**MELHORIA DA ACESSIBILIDADE NO SISTEMA USINN MODELER**

**RUSSAS**

**2025**

PEDRO HENRIQUE BARRETO DOS SANTOS

MELHORIA DA ACESSIBILIDADE NO SISTEMA USINN MODELER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação do Campus de Russas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Ciência da Computação.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Anna Beatriz dos Santos Marques.

RUSSAS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S237m Santos, Pedro Henrique Barreto.  
Melhoria da acessibilidade no sistema USINN Modeler / Pedro Henrique Barreto Santos. – 2025.  
42 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,  
Curso de Ciência da Computação, Russas, 2025.  
Orientação: Profa. Dra. Anna Beatriz dos Santos Marques.

1. USINN Modeler. 2. WCAG. 3. Acessibilidade. 4. Avaliação web. I. Título.

CDD 005

---

PEDRO HENRIQUE BARRETO DOS SANTOS

MELHORIA DA ACESSIBILIDADE NO SISTEMA USINN MODELER

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação do Campus de Russas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em: 28 de Fevereiro de 2025

BANCA EXAMINADORA

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Anna Beatriz dos Santos  
Marques (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>a</sup>. Ms. Valéria Maria da Silva Pinheiro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr<sup>a</sup>. Adriana Lopes Damian  
Instituto de Pesquisas Eldorado

## RESUMO

A acessibilidade tem se tornado um tema cada vez mais relevante e indispensável para os sistemas *web*. Neste contexto, o presente trabalho aborda a avaliação da acessibilidade do sistema USINN Modeler que apoia a criação de diagramas com a notação USINN (USability-oriented INteraction and Navigation Model), com o objetivo de evitar que o sistema crie barreiras para pessoas com deficiência. Para isso, foi realizada uma análise das páginas do USINN Modeler, utilizando tanto ferramentas automáticas quanto avaliações manuais, seguindo as diretrizes da *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2*. A avaliação foi registrada em uma planilha, identificando os critérios de sucesso que estavam em conformidade e aqueles que precisavam de melhorias. Com isso, foi feito um planejamento para solucionar os problemas encontrados e fazer a adaptação do sistema para deixar ele com uma melhor usabilidade e acessibilidade. Após as correções, os resultados mostraram uma evolução significativa, onde as páginas se tornaram mais acessíveis, conforme comprovado tanto pelas ferramentas de avaliação automática quanto pela comparação das planilhas, que evidenciaram a evolução nos critérios de sucesso antes e depois da adaptação às normas da WCAG.

**Palavras-chave:** USINN Modeler; WCAG; Acessibilidade; Avaliação web.

## ABSTRACT

Accessibility has become an increasingly relevant and indispensable topic for web systems. In this context, the present work addresses the evaluation of the accessibility of the USINN Modeler system, which supports the creation of diagrams with the USINN notation (USability-oriented Interaction and Navigation Model), with the aim of preventing the system from creating barriers for people with disabilities. To this end, an analysis of the USINN Modeler pages was carried out, using both automatic tools and manual evaluations, following the guidelines of Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. The evaluation was recorded in a spreadsheet, identifying the success criteria that were in compliance and those that needed improvement. As a result, a plan was made to solve the problems encountered and adapt the system to provide it with better usability and accessibility. After the corrections, the results showed a significant evolution, where the pages became more accessible, as proven both by the automatic evaluation tools and by comparing the spreadsheets, which showed the evolution in the success criteria before and after the adaptation to WCAG standards.

**Keywords:** USINN Modeler; WCAG; Accessibility; Web assessment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aplicação WEB USINN Modeler . . . . .	15
Figura 2 – Fases da metodologia . . . . .	20
Figura 3 – Ferramenta <i>Accessibility Insights for Web</i> . . . . .	22
Figura 4 – Ferramenta <i>Lighthouse</i> . . . . .	22
Figura 5 – Ferramenta <i>WAVE Evaluation Tool</i> . . . . .	23
Figura 6 – Resultado do <i>Accessibility Insights for Web</i> . . . . .	24
Figura 7 – Resultado do <i>Lighthouse</i> . . . . .	24
Figura 8 – <i>Link</i> externo do problema encontrado pelo <i>Lighthouse</i> . . . . .	25
Figura 9 – Resultado do <i>WAVE Evaluation Tool</i> . . . . .	25
Figura 10 – Referência do problema no <i>WAVE Evaluation Tool</i> . . . . .	26
Figura 11 – Ferramentas do <i>Accessibility Insights for Web</i> . . . . .	27
Figura 12 – Planilha de acessibilidade antes das implementações . . . . .	27
Figura 13 – Planejamento no ClickUp . . . . .	28
Figura 14 – Planilha de acessibilidade depois das implementações . . . . .	29
Figura 15 – Resultado da avaliação geral antes das implementações no sistema . . . . .	31
Figura 16 – Resultado da avaliação automática antes das implementações no sistema . . . . .	32
Figura 17 – Resultado da avaliação manual antes das implementações no sistema . . . . .	33
Figura 18 – Resultado do antes e depois do contraste . . . . .	35
Figura 19 – Resultado do antes e depois de ajustar texto . . . . .	35
Figura 20 – Resultado do antes e depois de ajustar o tamanho das áreas clicáveis . . . . .	36
Figura 21 – Resultado do antes e depois de ajustar a semântica . . . . .	36
Figura 22 – Diretrizes corretas, antes e depois das implementações . . . . .	37
Figura 23 – Diretrizes incorretas, antes e depois das implementações . . . . .	38

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação dos trabalhos relacionados . . . . .	18
Quadro 2 – Implementações realizadas no sistema USINN Modeler . . . . .	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASES	Avaliador e Simulador de Acessibilidade em Sítios
eMAG	Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico
LSBD	Laboratório de Sistemas e Banco de Dados
NVDA	<i>NonVisual Desktop Access</i>
PNAD Contínua	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
SAEF	Sistema de Avaliação do Ensino Fundamental
TAW	Teste de Acessibilidade <i>Web</i>
USINN	<i>USability-oriented INteraction and Navigation Model</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
WCAG	<i>Web Content Accessibility Guidelines</i>
WebAIM	<i>Web Accessibility In Mind</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>10</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral . . . . .</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos específicos . . . . .</b>	<b>11</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do trabalho . . . . .</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Acessibilidade web . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>As Diretrizes de Acessibilidade para o Conteúdo da Web (WCAG) 2.2 . . . . .</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Ferramentas de Avaliação da Acessibilidade Web . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>USINN Modeler . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Avaliação de acessibilidade web visual no site do Sistema de Avaliação da Educação Fundamental (SAEF) (Oliveira, 2023) . . . . .</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Uma avaliação de acessibilidade do site de um laboratório de pesquisa na perspectiva de pessoas com deficiência visual (Nascimento, 2022) . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>Avaliação da acessibilidade do portal observatório de dados abertos dos sertões dos Crateús (Costa, 2023) . . . . .</b>	<b>17</b>
<b>3.4</b>	<b>Métricas para avaliação de acessibilidade em websites para usuários com baixa visão (Barroso, 2022) . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>3.5</b>	<b>Comparativo dos trabalhos . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>3.6</b>	<b>Accessibility Evaluation of Web Systems for People with Visual Impairments: Findings from a Literature Survey (Souza, 2024) . . . . .</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Identificação de trabalhos na literatura . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Escolha das ferramentas para avaliação automática . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Avaliação automática das páginas . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>4.4</b>	<b>Avaliação manual das páginas . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>4.5</b>	<b>Documentar os problemas encontrados . . . . .</b>	<b>27</b>
<b>4.6</b>	<b>Planejamento para executar as soluções . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>4.7</b>	<b>Implementar as melhorias documentadas . . . . .</b>	<b>28</b>
<b>4.8</b>	<b>Documentar o progresso e fazer um comparativo . . . . .</b>	<b>29</b>

<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	30
<b>5.1</b>	<b>Resultado da avaliação da acessibilidade</b> . . . . .	30
<b>5.1.1</b>	<i>Avaliação automática</i> . . . . .	31
<b>5.1.2</b>	<i>Avaliação manual</i> . . . . .	32
<b>5.2</b>	<b>Implementação</b> . . . . .	33
<b>5.2.1</b>	<i>Resultado da implementação</i> . . . . .	37
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .	39
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	41

## 1 INTRODUÇÃO

O *USability-oriented INteraction and Navigation Model* (USINN) é um modelo de interação e navegação orientado à usabilidade que visa a melhoria da qualidade de uso de sistemas interativos. Ele permite modelar a interação e a navegação de sistemas interativos, podendo apoiar os designers na tomada de decisões sobre como os usuários poderão atingir seus objetivos de interação em uma determinada aplicação (Marques, 2017).

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua), a população com deficiência no Brasil foi estimada em 18,6 milhões (considerando as pessoas com 2 anos ou mais). O número corresponde a 8,9% da população com essa faixa etária (Social, 2023). Esse cenário evidencia a ampla quantidade de pessoas que possuem algum tipo de deficiência, o que torna a acessibilidade em sistemas *web* indispensável.

A notação USINN foi desenvolvida para apoiar o design de interação e a interface de sistemas interativos, com foco na melhoria da usabilidade e na qualidade de uso (Marques, 2017). O USINN Modeler é um sistema baseado nessa notação, que adota a premissa de otimizar a experiência do usuário, priorizando a usabilidade em todas as suas funcionalidades. Dessa forma, é essencial que tanto a acessibilidade quanto a usabilidade estejam presentes no sistema, garantindo uma interação inclusiva e eficiente para todos os usuários.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o nível de acessibilidade do sistema USINN Modeler, identificar as implementações necessárias para sua melhoria e demonstrar os avanços alcançados em relação à acessibilidade. Com isso, a metodologia foi a busca por ferramentas que auxiliaram na análise da acessibilidade, onde foi feita uma avaliação automática do sistema e uma avaliação manual com ajuda dessas ferramentas. Todas as ferramentas escolhidas foram baseadas nas normas da *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG), que foi criada pela *World Wide Web Consortium* (W3C) e estabelecem padrões internacionais para garantir que os *websites* sejam acessíveis a todas as pessoas, incluindo aquelas com deficiências (Consortium, 2023).

Após a conclusão da avaliação, foi elaborada uma planilha detalhando os critérios de sucesso que o sistema atende ou não. Com base nessa análise, foi desenvolvido um planejamento estratégico para implementar soluções que tornaram a acessibilidade mais eficiente. Após o planejamento, o sistema teve a adaptação conforme as diretrizes da WCAG, e cada alteração está documentada à medida que houve a implementação. Ao final do processo de implementação, houve o detalhamento em uma planilha de progresso do USINN Modeler, destacando as melhorias realizadas por meio da comparação entre as versões anteriores e posteriores às implementações.

### **1.1 Objetivo geral**

Melhorar o nível de acessibilidade do sistema USINN Modeler, utilizando ferramentas automatizadas e análises manuais.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Obter medidas sobre a acessibilidade da USINN Modeler por meio de ferramentas automatizadas.
- Avaliar manualmente os critérios de acessibilidade da USINN Modeler.
- Documentar os problemas de acessibilidade identificados pela avaliação.
- Implementar as melhorias documentadas.
- Avaliar o progresso do USINN Modeler em relação à acessibilidade.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Este trabalho está estruturado em cinco seções. A Seção 2 apresenta a fundamentação teórica, destacando a relevância dos temas discutidos ao longo do estudo. Na Seção 3, são explorados os trabalhos relacionados, com ênfase nas normas adotadas e nas ferramentas utilizadas, incluindo um quadro comparativo na Subseção 3.5. A Seção 4 descreve a metodologia aplicada, detalhando os passos realizados para alcançar os objetivos do trabalho, como a seleção das ferramentas, a avaliação automática e manual, além da documentação dos resultados. A Seção 5 evidencia os resultados obtidos após seguir a metodologia elaborada. Por fim, a Seção 6 fala sobre a conclusão deste trabalho e o plano futuro para o projeto com respeito à acessibilidade.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão abordados conceitos fundamentais para o presente trabalho, incluindo o impacto da acessibilidade na *web*, a forma como as normas WCAG contribuem para a melhoria da acessibilidade, e como as ferramentas de avaliação podem facilitar a análise da acessibilidade em sistemas *web*.

### 2.1 Acessibilidade web

A acessibilidade *web* refere-se à prática de garantir que todos os usuários, independentemente de suas habilidades ou deficiências, possam acessar e interagir com os conteúdos e funcionalidades de um site. Isso inclui pessoas com deficiências visuais, auditivas, motoras, cognitivas e outras. Pessoas com deficiência visual podem ter cegueira ou baixa visão e usam ferramentas como leitores de tela. Aqueles com deficiência auditiva podem precisar de legendas, transcrições ou recursos visuais para acessar informações auditivas. As deficiências motoras afetam a coordenação e o movimento, levando usuários a utilizar dispositivos adaptados, como teclados especiais ou controle por voz. Já as deficiências cognitivas impactam processos como atenção, memória e compreensão, exigindo conteúdos claros e de fácil navegação. Outras condições, como a epilepsia, requerem o controle de estímulos visuais, como luzes piscantes, para evitar crises. A acessibilidade não se limita apenas a facilitar o acesso a tecnologias assistivas, como leitores de tela, mas também a projetar interfaces e conteúdos de forma inclusiva desde o início (Consortium, 2023).

A promoção da acessibilidade *web* é fundamental para garantir a igualdade no ambiente digital. O acesso universal à informação e às funcionalidades da *web* é garantido por princípios como a flexibilidade, a compatibilidade com tecnologias assistivas e o uso de padrões abertos. Além de melhorar a experiência de usuários com deficiência, sites acessíveis também oferecem melhor usabilidade para todos, uma vez que práticas de design inclusivo resultam em interfaces mais intuitivas e funcionais (Bach, 2009).

### 2.2 As Diretrizes de Acessibilidade para o Conteúdo da Web (WCAG) 2.2

A WCAG é um conjunto de recomendações desenvolvidas pelo W3C com o objetivo de fornecer orientações sobre como criar conteúdos acessíveis para todos os usuários, especialmente aqueles com deficiência. A versão mais recente, a WCAG 2.2, mantém os quatro

princípios fundamentais da acessibilidade: perceptível, operável, compreensível e robusto, e introduz novos critérios para melhorar a experiência dos usuários (Consortium, 2023).

- **Perceptível:** As informações e os componentes da interface do usuário devem ser apresentados em formas que possam ser percebidas pelo usuário, ou seja, que a informação esteja disponível para os sentidos. Isso inclui alternativas textuais para conteúdos visuais e legendas para vídeos.
- **Operável:** Os componentes de interface de usuário e a navegação devem ser operáveis. Exemplo, aqueles que usam tecnologias assistivas como leitores de tela ou navegam apenas pelo teclado, devem conseguir usar o sistema sem usar o mouse.
- **Compreensível:** A informação e a operação da interface de usuário devem ser compreensíveis. O sistema deve fornecer instruções claras e usar uma linguagem simples e fácil de entender, isso significa que os usuários devem conseguir entender tanto o conteúdo quanto o funcionamento da interface.
- **Robusto:** O conteúdo deve ser robusto o suficiente para poder ser interpretado de forma confiável por uma ampla variedade de agentes de usuário, incluindo tecnologias assistivas. Ou seja, o sistema tem que funcionar corretamente em qualquer ambiente, por isso a implementação do sistema tem que ser bem implementada para garantir que funcione em navegadores diferentes e tecnologias assistivas.

A WCAG 2.2 propõe melhorias em relação à versão anterior, WCAG 2.1, com o intuito de abordar lacunas específicas, como a acessibilidade para pessoas com deficiências cognitivas e motoras. Na versão 2.1, a WCAG estabelecia 78 critérios de sucesso para orientar a criação de conteúdos acessíveis na *web*. Com o lançamento da versão 2.2, esse número foi ampliado para 86, com a introdução de 9 novos critérios que aprimoram a acessibilidade, além da remoção de um critério considerado obsoleto. Dos novos critérios, 5 foram adicionados ao princípio de operabilidade e 4 ao de compreensibilidade, enquanto o critério removido pertencia ao princípio de robustez.

Os novos critérios incluem requisitos para foco visível, controles acessíveis para dispositivos móveis e melhorias na navegação por teclado, tornando a navegação mais eficiente e inclusiva. Para cada diretriz, são fornecidos critérios de sucesso testáveis para permitir que as normas da WCAG sejam utilizadas onde os requisitos e os testes de conformidade são necessários, tais como na especificação do projeto, nas compras, na regulamentação e nos acordos contratuais. A fim de atender às necessidades dos diferentes grupos e situações, são definidos três níveis de

conformidade: A (o mais baixo), AA e AAA (o mais elevado). Vale ressaltar que, mesmo que o conteúdo atenda ao nível mais alto de conformidade (AAA), isso não garante sua acessibilidade para todos os tipos, graus ou combinações de deficiências (Consortium, 2023).

### 2.3 Ferramentas de Avaliação da Acessibilidade Web

As ferramentas de avaliação da acessibilidade *web* são essenciais para identificar barreiras que podem impedir ou dificultar o acesso de pessoas com deficiência a sites e aplicações *web*. Essas ferramentas automatizadas ajudam a verificar se os sites estão em conformidade com as diretrizes de acessibilidade, como a WCAG 2.2, e podem identificar problemas relacionados ao código, estrutura, conteúdo ou interatividade da página (Araújo, 2023).

Alguns exemplos de ferramentas automáticas para avaliação de acessibilidade são o *Accessibility Insights for Web*, o *Lighthouse* e o *WAVE Evaluation Tool*. Elas realizam varreduras automatizadas para detectar erros comuns, como a falta de descrições alternativas para imagens, problemas de contraste de cores, ausência de rótulos em formulários e navegação inadequada por teclado (Oliveira; Silva, 2018).

O *Accessibility Insights for Web*, desenvolvido pela Microsoft, é focado exclusivamente em acessibilidade, oferecendo tanto avaliações automáticas quanto suporte para avaliações manuais (Microsoft, 2024). Já o *Lighthouse*, criado pelo Google, não é uma ferramenta voltada exclusivamente para a acessibilidade, mas realiza avaliações automáticas e sugere soluções para os problemas detectados (Google, 2024). Por fim, o *WAVE Evaluation Tool*, desenvolvido pela *Web Accessibility In Mind* (WebAIM), também é especializado em acessibilidade, fornecendo avaliações automáticas e apresentando o resultado visualmente e de fácil compreensão (WebAIM, 2024).

### 2.4 USINN Modeler

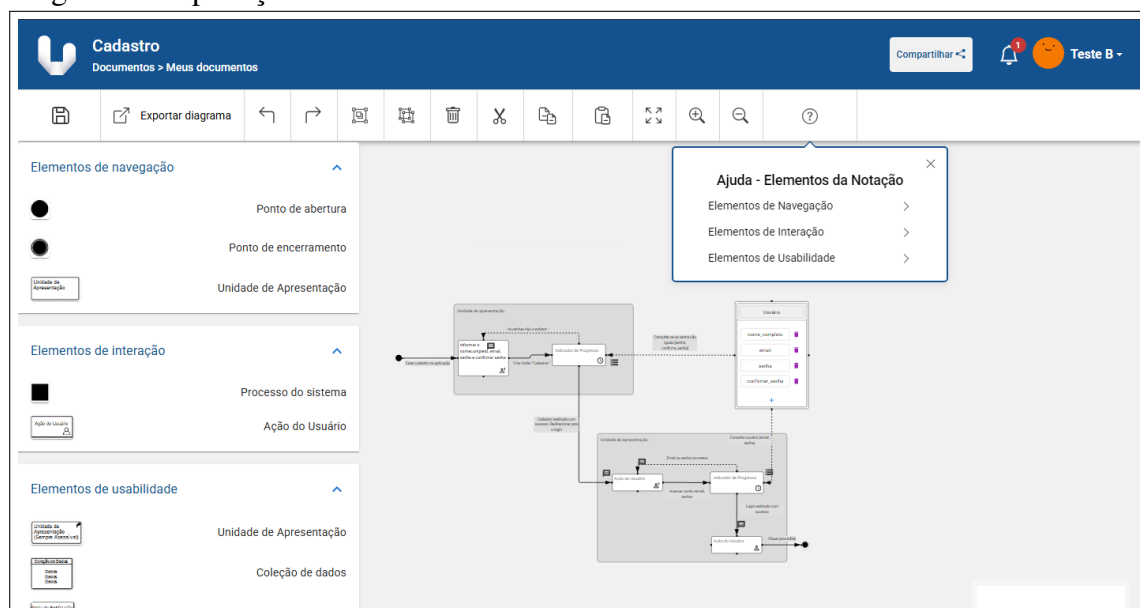
A USINN foi criada com o propósito de preencher as lacunas identificadas nos modelos de interação e navegação existentes, que muitas vezes não são pensados para serem usados de forma integrada no design de interação. Essa falta de integração pode levar a inconsistências na representação das soluções projetadas e comprometer a usabilidade dos sistemas (Marques, 2017).

A USINN visa apoiar a adoção de modelos de interação e navegação de maneira integrada, permitindo uma representação mais completa e coesa das soluções. Além disso, ao incorporar mecanismos de usabilidade no processo de design de interação, a ferramenta busca garantir que as soluções propostas proporcionem uma experiência de uso aprimorada, contribuindo para a criação de sistemas interativos mais eficientes e de melhor qualidade (Marques, 2017).

A partir disso, foi desenvolvida a USINN Modeler, uma aplicação web que oferece funcionalidades essenciais, incluindo a criação e gerenciamento de diagramas USINN, o compartilhamento de diagramas e o gerenciamento de contas de usuário. No entanto, o grande diferencial desta ferramenta é sua capacidade de validar a sintaxe dos diagramas conforme as regras da notação USINN. Isso permite identificar possíveis problemas de corretude nos diagramas, tornando-a uma ferramenta valiosa para melhorar a qualidade do design (UFCInova, 2024).

Além disso, a USINN Modeler fornece informações detalhadas sobre a notação USINN, o projeto USINN e os benefícios de sua aplicação em projetos de software. Isso torna a ferramenta não apenas uma plataforma de design, mas também um recurso educacional valioso para estudantes, professores e pesquisadores nas áreas de Interação Humano-Computador e Engenharia de Software (UFCInova, 2024). Na Figura 1 pode ser vista a aplicação web da ferramenta e, para mais detalhes, acesse o sistema USINN Modeler<sup>1</sup>.

Figura 1 – Aplicação WEB USINN Modeler



Fonte: Elaborado pelo autor

<sup>1</sup> Disponível em: <https://usinnmodeler.vercel.app/>

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, foram identificados estudos que abordam o mesmo tema deste trabalho, mas em diferentes contextos. A pesquisa foi realizada no repositório da Universidade Federal do Ceará (UFC), utilizando os termos "avaliação da acessibilidade" e "TCC", com um filtro para as publicações mais recentes. Além disso, foi realizada uma busca no Google Acadêmico com os termos "Accessibility Evaluation" e "Web Systems", com o objetivo de destacar a importância da implementação da acessibilidade nos sistemas.

Foram priorizados trabalhos focados na avaliação da acessibilidade em sistemas web. Para cada pesquisa revisada, apresenta-se um resumo das propostas e dos resultados obtidos pelos autores. Por fim, é elaborado um quadro comparativo que apresenta as principais características de cada estudo analisado. Em seguida, destaca-se um artigo que reforça a importância de incorporar a acessibilidade em todas as etapas do ciclo de desenvolvimento, garantindo uma abordagem mais inclusiva e eficiente.

#### 3.1 Avaliação de acessibilidade web visual no site do Sistema de Avaliação da Educação Fundamental (SAEF) (Oliveira, 2023)

O trabalho do Oliveira (2023) visa avaliar o nível de acessibilidade *web* visual do sítio eletrônico do Sistema de Avaliação do Ensino Fundamental (SAEF) do município de Fortaleza por meio de ferramenta automatizada. Ele faz uma avaliação automática no sistema, coleta todos os dados dessa análise e sugere alterações, para o sistema melhorar o nível de acessibilidade *web* visual.

Oliveira (2023) faz uma avaliação exclusivamente de forma automática, utilizando a ferramenta Avaliador e Simulador de Acessibilidade em Sítios (ASES), que segue as diretrizes da WCAG 2.1 e do Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico (eMAG) 3.1. Desenvolvida pelo governo brasileiro, essa ferramenta foi selecionada com base nos critérios estabelecidos pelo autor: ser em português, compatível com o sistema operacional Windows, gratuita, apresentar os dados de avaliação de forma clara e legível, além de se conectar e identificar o código-fonte do sistema SAEF.

### **3.2 Uma avaliação de acessibilidade do site de um laboratório de pesquisa na perspectiva de pessoas com deficiência visual (Nascimento, 2022)**

A pesquisa do Nascimento (2022) explora a importância da acessibilidade *web*, avaliando o site do Laboratório de Sistemas e Banco de Dados (LSBD) com foco na usabilidade para pessoas com deficiência visual. A análise combina métodos automáticos e manuais para identificar problemas que podem passar despercebidos por uma abordagem isolada. Ao final, são analisadas todas as inconformidades encontradas para aprimorar a acessibilidade do sistema.

Nascimento (2022) selecionou as ferramentas com base nos seguintes critérios: detalhamento dos relatórios gerados, facilidade de uso, compatibilidade com o navegador Chrome, gratuidade e conformidade com as normas WCAG. Atendendo a esses requisitos, a análise automática foi realizada utilizando as ferramentas Accessi.org e Teste de Acessibilidade *Web* (TAW), enquanto a avaliação manual seguiu as diretrizes do eMAG e utilizou o *NonVisual Desktop Access* (NVDA), um leitor de tela amplamente reconhecido.

### **3.3 Avaliação da acessibilidade do portal observatório de dados abertos dos sertões dos Crateús (Costa, 2023)**

Costa (2023) apresenta a avaliação realizada no Observatório de Dados Abertos da região do Sertão dos Crateús, considerando os critérios de acessibilidade sob a perspectiva do eMAG. As etapas do trabalho foram divididas em uma avaliação automática da interface, seguida de uma avaliação manual, e a posterior análise dos resultados obtidos em ambas as fases.

Para a avaliação automática, Costa (2023) utilizou a ferramenta ASES, recomendada pelo eMAG. A avaliação manual contou com o suporte do software NVDA, escolhido por sua ampla adoção entre usuários de leitores de telas, garantindo a relevância dos testes realizados.

### 3.4 Métricas para avaliação de acessibilidade em websites para usuários com baixa visão (Barroso, 2022)

Barroso (2022) avaliou os sites conforme as normas estabelecidas pelo WCAG 2.1, com foco em usuários com baixa visão, utilizando um coeficiente de correlação para a geração de gráficos. A metodologia foi dividida em: seleção dos sites a serem avaliados, realização de avaliação automática, análise dos dados coletados e desenvolvimento das aplicações.

A avaliação do Barroso (2022) foi realizada exclusivamente por meio de ferramentas automáticas, utilizando o *Markup Validation Service* e o *CSS Validation Service*. Essas ferramentas operam com as *URLs* dos sites coletados, e após a inserção da *URL*, retornam a quantidade de problemas detectados, bem como sua severidade. Os resultados são organizados em gráficos para facilitar a visualização dos dados.

### 3.5 Comparativo dos trabalhos

O Quadro 1 apresenta um resumo dos trabalhos relacionados a este estudo, destacando os principais aspectos abordados em cada um. Ela exhibe os autores, as diretrizes utilizadas para a análise, as ferramentas selecionadas para realizar ou auxiliar a avaliação e o método de avaliação adotado. Observa-se que nenhum dos trabalhos analisados utilizou a versão mais recente da WCAG, a 2.2 ou as ferramentas de avaliação automática abordadas neste trabalho.

Quadro 1 – Comparação dos trabalhos relacionados

Trabalhos	Diretrizes usadas	Ferramentas escolhidas para análise	Modo de análise
(Oliveira, 2023)	WCAG 2.1 eMAG 3.1	ASES	Automático
(Nascimento, 2022)	WCAG 2.1 eMAG 3.1	Accessi.org TAW	Automático Manual
(Costa, 2023)	eMAG 3.1	ASES	Automático Manual
(Barroso, 2022)	WCAG 2.1	Markup Validation Service CSS Validation Service	Automático
Este trabalho	WCAG 2.2	Accessibility Insights for Web Lighthouse WAVE Evaluation Tool	Automático Manual

Fonte: Elaborado pelo autor

### **3.6 Accessibility Evaluation of Web Systems for People with Visual Impairments: Findings from a Literature Survey (Souza, 2024)**

O Souza *et al.* (2024) fazem uma revisão da literatura que investiga os métodos, técnicas e ferramentas utilizadas para avaliar a acessibilidade de sistemas web para pessoas com deficiência visual. A pesquisa analisou 1.245 artigos de diversas bases digitais (IEEEExplore, ScienceDirect, Springer e ACM), dos quais 52 estudos foram selecionados após rigorosa aplicação de critérios de inclusão e exclusão.

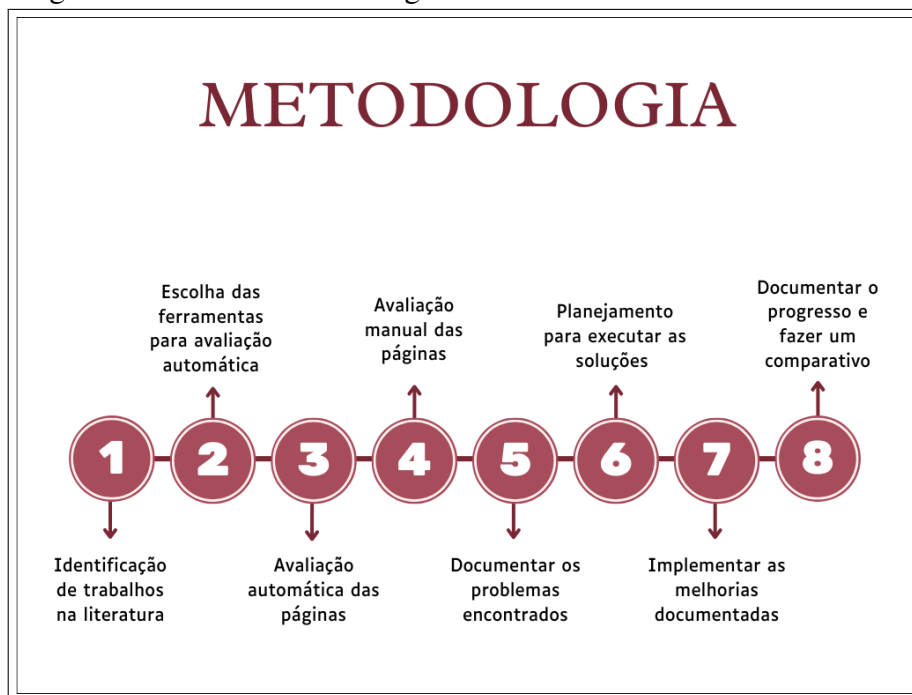
O estudo aborda padrões e diretrizes essenciais, como as WCAG 2.2 e o modelo eMAG, que orientam a implementação de soluções acessíveis desde as primeiras fases do desenvolvimento dos sistemas. Foram identificados diversos recursos para a avaliação de acessibilidade, que se agrupam em atributos, medidas, métricas, métodos, heurísticas, além dos tipos de avaliação e teste aplicados, como avaliações manuais, com especialistas, com usuários finais, avaliações heurísticas e testes automatizados.

Os resultados demonstram a diversidade de abordagens na avaliação de acessibilidade, ressaltando a importância de combinar diferentes métodos para obter uma análise mais completa dos sistemas. Em última análise, o trabalho enfatiza a necessidade de integrar a acessibilidade ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento para garantir uma experiência inclusiva e de qualidade para usuários com deficiência visual.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo aborda o etapas no desenvolvimento deste trabalho, conforme ilustrado na Figura 2. Começando pela identificação de trabalhos na literatura e pela seleção das ferramentas de avaliação que seguem as normas da WCAG. Inicialmente, foi realizada uma avaliação automática com essas ferramentas, seguida de uma avaliação manual. A partir dos dados coletados, foram documentados os critérios de sucesso que atendiam ou não às diretrizes da WCAG. Com base nessa análise, houve a elaboração de um plano de ação para solucionar os problemas identificados. Após o planejamento, foram implementadas as melhorias e registrado todo o progresso, permitindo uma comparação clara do sistema USINN Modeler antes e depois das melhorias, com base em planilhas comparativas de acessibilidade.

Figura 2 – Fases da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.1 Identificação de trabalhos na literatura

Nesta seção, foram identificados e analisados estudos que abordam o mesmo tema deste trabalho, mas em diferentes contextos. A pesquisa foi conduzida no repositório da Universidade Federal do Ceará (UFC), utilizando os termos "avaliação da acessibilidade" e "TCC", com um filtro para selecionar as publicações mais recentes. O foco principal foi em trabalhos que avaliam a acessibilidade em sistemas web, priorizando aqueles que apresentam metodologias, ferramentas e critérios de análise relevantes para esta investigação.

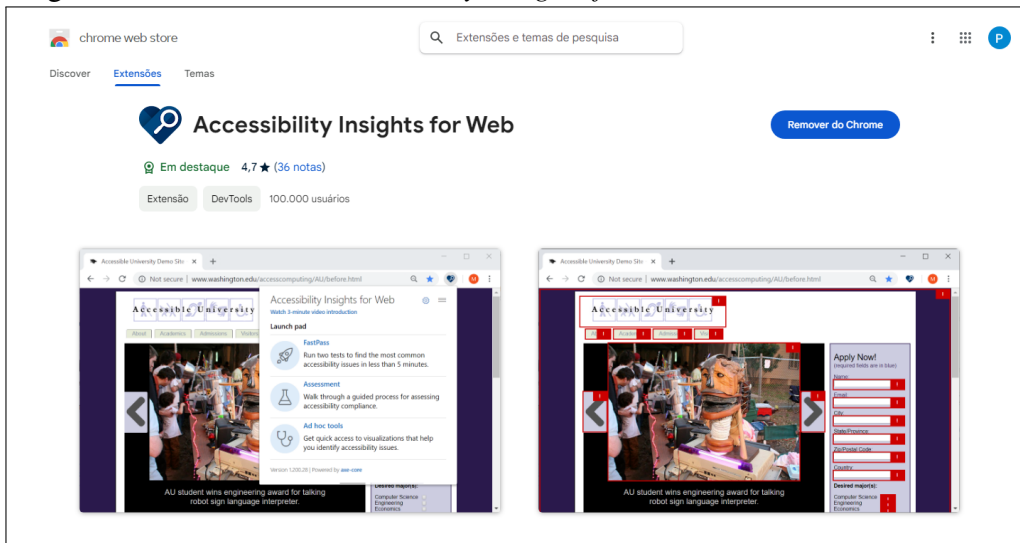
Para cada estudo revisado, é apresentado um resumo das propostas, das abordagens metodológicas adotadas e das ferramentas utilizadas. Além disso, foi elaborado um quadro comparativo que destaca as características de cada trabalho, evidenciando semelhanças, diferenças e contribuições para o campo da acessibilidade web. Essa análise permite identificar lacunas na literatura e embasar a fundamentação teórica deste estudo.

#### 4.2 Escolha das ferramentas para avaliação automática

Nesta etapa, foram pesquisadas algumas ferramentas que utilizassem as normas da WCAG ao fazerem as análises. Foram selecionadas as ferramentas gratuitas, que pudessem ter acesso a rotas privadas e que tivessem uma versão WCAG 2.0 ou superior, pois as normas das versões mais antigas se mantinham nas recentes. As rotas privadas são aquelas que exigem algum tipo de autorização, como login, para serem acessadas, permitindo que a ferramenta realize a análise dessas rotas sem ser redirecionada para outra página em função da ausência de permissão de acesso. Com isto em mente, as ferramentas escolhidas foram a *Accessibility Insights for Web*, *Lighthouse* e *WAVE Evaluation Tool*.

O *Accessibility Insights for Web*, mostrado na Figura 3, é uma ferramenta focada especialmente em acessibilidade, e desenvolvida pela Microsoft. A ferramenta possui a análise automática e auxilia você com testes manuais, tudo isso é feito seguindo as normas da WCAG 2.1. Esta ferramenta foi escolhida, ao seguir uma versão recente da WCAG, ser feita por uma empresa confiável e suas análises serem possíveis de serem feitas rotas privadas do sistema.

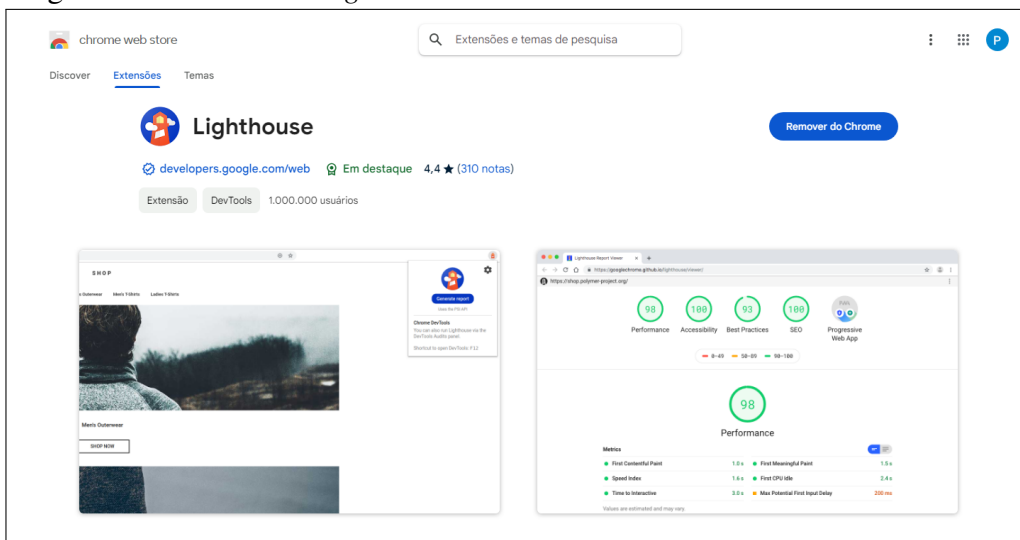
Figura 3 – Ferramenta *Accessibility Insights for Web*



Fonte: Google Web Store (captura de tela realizada pelo autor)

O *Lighthouse*, mostrado na Figura 4, é uma ferramenta da Google que não é focada na acessibilidade, porém, entre suas várias análises, ela disponibiliza a análise da acessibilidade no sistema. A ferramenta faz sua avaliação completamente automática, ela faz uma varredura completa na página e mostra as inconformidades de acessibilidade. Ela mostra onde está o erro, como resolver o problema e permite visualizar uma nota da acessibilidade naquela página. A ferramenta foi selecionada por ser de uma empresa confiável e permitir a avaliação em rotas privadas.

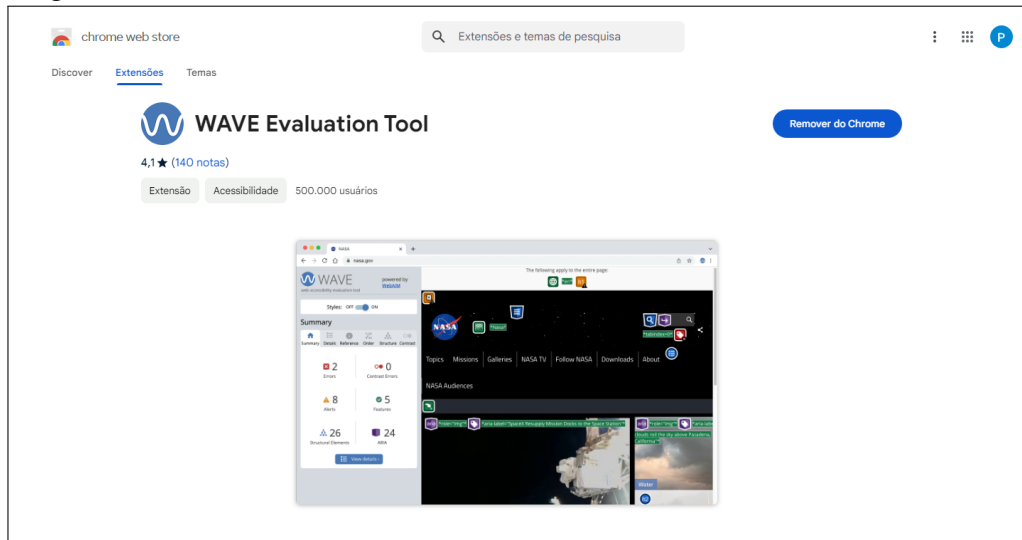
Figura 4 – Ferramenta *Lighthouse*



Fonte: Google Web Store (captura de tela realizada pelo autor)

O *WAVE Evaluation Tool*, mostrado na Figura 5, é uma ferramenta focada na acessibilidade, conforme as normas da WCAG 2.2. Ela foi desenvolvida pela WebAIM, possui uma análise detalhada dos problemas e permite a avaliação em rotas privadas.

Figura 5 – Ferramenta *WAVE Evaluation Tool*



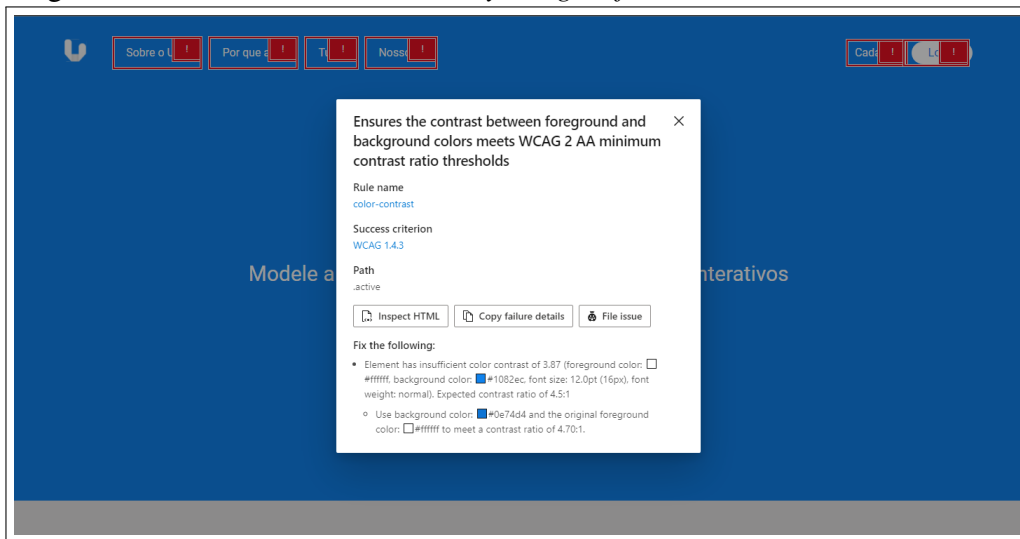
Fonte: Google Web Store (captura de tela realizada pelo autor)

### 4.3 Avaliação automática das páginas

Na avaliação automática, são utilizadas as ferramentas em todas as páginas do sistema *web*, os erros são documentados conforme o critério de sucesso definido pela WCAG. Todas as ferramentas utilizadas citam exatamente onde está o erro e qual o seu critério de sucesso.

A Figura 6 é a ferramenta *Accessibility Insights for Web*, ao clicar no problema exibido na tela, ela irá mostrar o erro detalhadamente e seu respectivo critério de sucesso que não está sendo seguido. Todos os critérios de sucesso, que forem detectados, serão documentados para ser feita uma análise.

Figura 6 – Resultado do *Accessibility Insights for Web*



Fonte: Elaborado pelo autor

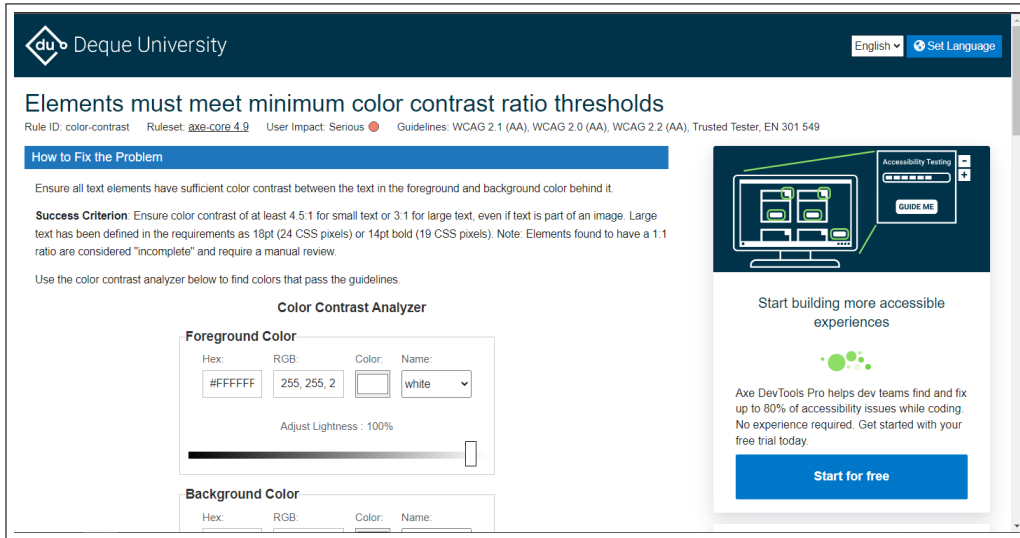
A Figura 7 é a ferramenta *Lighthouse*, após feita a análise do sistema, ele retorna os problemas de acessibilidade. A ferramenta disponibiliza o *link* externo para cada tipo de problema, onde é possível compreender o problema de forma mais detalhada, ver as possíveis soluções e o critério de sucesso referente ao problema, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 7 – Resultado do *Lighthouse*



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8 – Link externo do problema encontrado pelo *Lighthouse*



Fonte: Deque University (captura de tela realizada pelo autor)

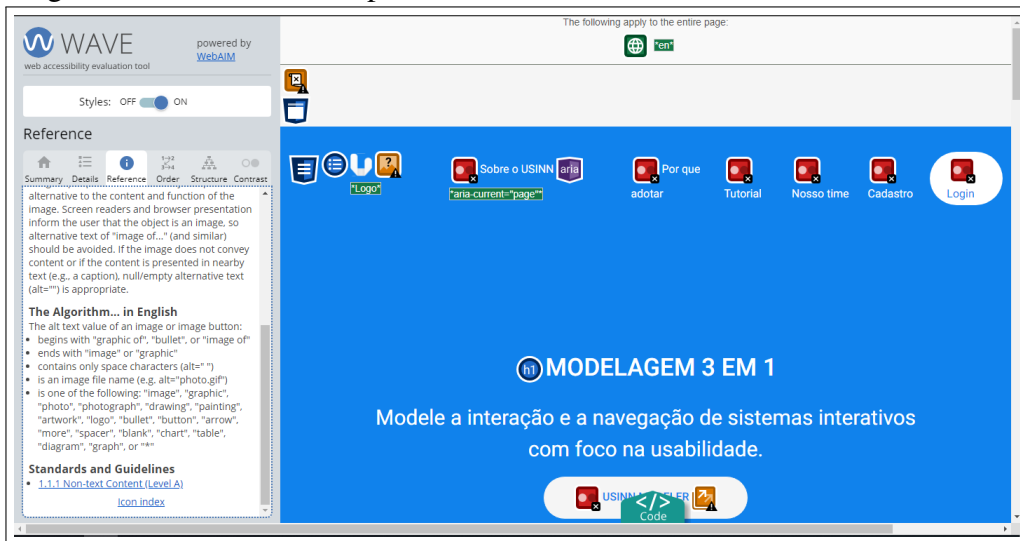
A Figura 9 é a ferramenta *WAVE Evaluation Tool*, nela é possível identificar a quantidade de problemas e o nível dos problemas de acessibilidade. A referência do problema, como pode ser visto na Figura 10, é disponibilizada em detalhes a respeito do problema e seu respectivo critério de sucesso, que será documentado.

Figura 9 – Resultado do *WAVE Evaluation Tool*



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 10 – Referência do problema no *WAVE Evaluation Tool*



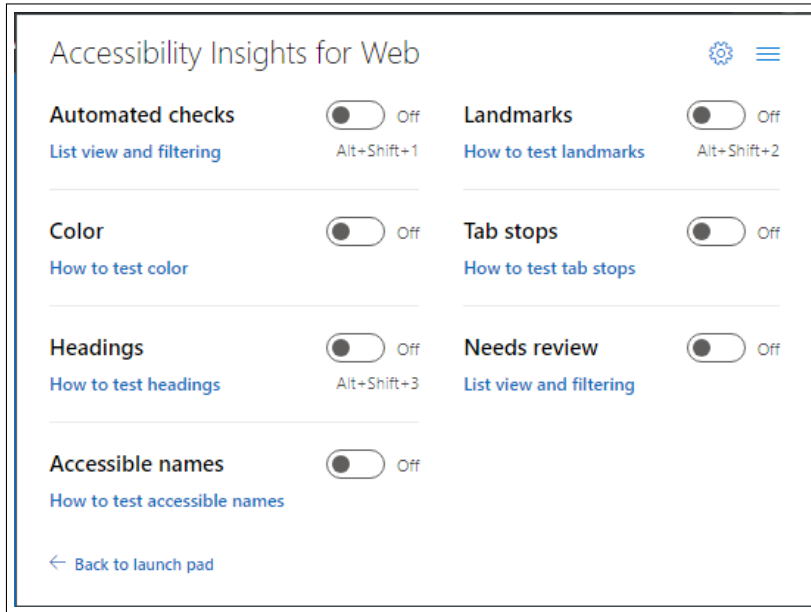
Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4 Avaliação manual das páginas

Nesta etapa, o processo é um pouco mais demorado, pois a WCAG possui 87 critérios de sucesso e as ferramentas são muito limitadas para encontrar os problemas de acessibilidade de forma automática. Para a avaliação manual, foi destinada uma sprint correspondente a duas semanas. Com o resultado da avaliação automática, todos os critérios que já foram encontrados são documentados e será feita uma avaliação nos critérios que não foram citados.

A avaliação manual foi feita conforme o documento da WCAG, onde os critérios de sucesso foram lidos e conferidos no sistema se estavam conforme descrito na documentação. Não houve priorização de páginas durante a avaliação, pois o processo baseou-se exclusivamente na compreensão detalhada de cada critério e na validação nas páginas. Foi utilizada a ajuda das funcionalidades do *Accessibility Insights for Web* como mostrado na Figura 11, que permite ver como os componentes serão lidos pelos leitores de tela, como está a hierarquia de títulos, visão daltônica e navegação por teclado. Visando simular fielmente a navegação do sistema para leitores de tela, foi usado o leitor de tela do Android.

Figura 11 – Ferramentas do *Accessibility Insights for Web*



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.5 Documentar os problemas encontrados

Nesta etapa, foi feita uma documentação detalhada de toda a avaliação, onde é demonstrado o resultado da avaliação automática e manual. A planilha possui todos os critérios de sucesso e os seus níveis, estabelecidos pela WCAG 2.2, possui o resultado de todas as páginas avaliadas, dizendo quais estão seguindo o critério de sucesso, quais não estão conforme e quais não são necessárias avaliar, conforme pode ser visto na Figura 12. Para mais detalhes sobre os documentos acesse o repositório<sup>1</sup>.

Figura 12 – Planilha de acessibilidade antes das implementações

Fonte: Elaborado pelo autor

<sup>1</sup> Acesse o repositório: clicando aqui

## 4.6 Planejamento para executar as soluções

Com a análise do sistema realizada e registrada em uma planilha, foi elaborado um planejamento para a resolução dos problemas de forma eficiente e prática. Houve uma avaliação para decidir a melhor abordagem para solucionar os problemas, considerando os níveis de conformidade da WCAG, os princípios da acessibilidade envolvidos, as páginas mais necessitadas de ajustes, entre outros fatores. A organização foi realizada no ClickUp, como mostrado na Figura 13. Essa ferramenta de gerenciamento de projetos é utilizada pelo USINN Modeler para facilitar o acompanhamento e a coordenação das atividades.

Figura 13 – Planejamento no ClickUp



Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.7 Implementar as melhorias documentadas

Após a fase de planejamento das soluções de acessibilidade, iniciou-se a implementação das adaptações conforme as diretrizes estabelecidas pela WCAG. O autor deste trabalho ficou responsável pelo desenvolvimento da acessibilidade no time de desenvolvimento da USINN Modeler. Todos os ajustes necessários foram realizados no *front-end* da aplicação, garantindo que a interface seja acessível a todos os usuários. Uma das primeiras implementações diz respeito à semântica do código, ao contraste, à melhoria da navegação por teclado e à responsividade das páginas. A aplicação dessas mudanças no código visa melhorar a usabilidade para pessoas com diferentes tipos de deficiência, otimizando a navegação, legibilidade e interação com o conteúdo, conforme as boas práticas recomendadas pela WCAG.

### 4.8 Documentar o progresso e fazer um comparativo

Depois da implementação de cada critério de sucesso estabelecido pela WCAG, foi atualizada uma planilha que registrava o *status* de conformidade de todos os critérios, indicando quais foram atendidos e quais ainda precisam de ajustes, conforme pode ser visto na Figura 14. Ao final do processo de implementação, foram comparadas as planilhas antes e depois das adaptações, conforme as orientações da WCAG 2.2. Essa comparação tornou evidente o progresso e os resultados alcançados em termos de usabilidade e acessibilidade do sistema, destacando as melhorias realizadas para promover uma experiência mais inclusiva para todos os usuários.

Figura 14 – Planilha de acessibilidade depois das implementações

Item	WCAG	WCAG 2.1	WCAG 2.2	Antes	Depois
1.1	1.1.1	A	2.0	N	N
1.1	1.1.2	A	2.0	N	N
1.1	1.1.3	A	2.0	N	N
1.1	1.1.4	A	2.0	N	N
1.1	1.1.5	A	2.0	N	N
1.1	1.1.6	A	2.0	N	N
1.1	1.1.7	A	2.0	N	N
1.1	1.1.8	A	2.0	N	N
1.1	1.1.9	A	2.0	N	N
1.1	1.1.10	A	2.0	N	N
1.1	1.1.11	A	2.0	N	N
1.1	1.1.12	A	2.0	N	N
1.1	1.1.13	A	2.0	N	N
1.1	1.1.14	A	2.0	N	N
1.1	1.1.15	A	2.0	N	N
1.1	1.1.16	A	2.0	N	N
1.1	1.1.17	A	2.0	N	N
1.1	1.1.18	A	2.0	N	N
1.1	1.1.19	A	2.0	N	N
1.1	1.1.20	A	2.0	N	N
1.1	1.1.21	A	2.0	N	N
1.1	1.1.22	A	2.0	N	N
1.1	1.1.23	A	2.0	N	N
1.1	1.1.24	A	2.0	N	N
1.1	1.1.25	A	2.0	N	N
1.1	1.1.26	A	2.0	N	N
1.1	1.1.27	A	2.0	N	N
1.1	1.1.28	A	2.0	N	N
1.1	1.1.29	A	2.0	N	N
1.1	1.1.30	A	2.0	N	N
1.1	1.1.31	A	2.0	N	N
1.1	1.1.32	A	2.0	N	N
1.1	1.1.33	A	2.0	N	N
1.1	1.1.34	A	2.0	N	N
1.1	1.1.35	A	2.0	N	N
1.1	1.1.36	A	2.0	N	N
1.1	1.1.37	A	2.0	N	N
1.1	1.1.38	A	2.0	N	N
1.1	1.1.39	A	2.0	N	N
1.1	1.1.40	A	2.0	N	N
1.1	1.1.41	A	2.0	N	N
1.1	1.1.42	A	2.0	N	N
1.1	1.1.43	A	2.0	N	N
1.1	1.1.44	A	2.0	N	N
1.1	1.1.45	A	2.0	N	N
1.1	1.1.46	A	2.0	N	N
1.1	1.1.47	A	2.0	N	N
1.1	1.1.48	A	2.0	N	N
1.1	1.1.49	A	2.0	N	N
1.1	1.1.50	A	2.0	N	N
1.1	1.1.51	A	2.0	N	N
1.1	1.1.52	A	2.0	N	N
1.1	1.1.53	A	2.0	N	N
1.1	1.1.54	A	2.0	N	N
1.1	1.1.55	A	2.0	N	N
1.1	1.1.56	A	2.0	N	N
1.1	1.1.57	A	2.0	N	N
1.1	1.1.58	A	2.0	N	N
1.1	1.1.59	A	2.0	N	N
1.1	1.1.60	A	2.0	N	N
1.1	1.1.61	A	2.0	N	N
1.1	1.1.62	A	2.0	N	N
1.1	1.1.63	A	2.0	N	N
1.1	1.1.64	A	2.0	N	N
1.1	1.1.65	A	2.0	N	N
1.1	1.1.66	A	2.0	N	N
1.1	1.1.67	A	2.0	N	N
1.1	1.1.68	A	2.0	N	N
1.1	1.1.69	A	2.0	N	N
1.1	1.1.70	A	2.0	N	N
1.1	1.1.71	A	2.0	N	N
1.1	1.1.72	A	2.0	N	N
1.1	1.1.73	A	2.0	N	N
1.1	1.1.74	A	2.0	N	N
1.1	1.1.75	A	2.0	N	N
1.1	1.1.76	A	2.0	N	N
1.1	1.1.77	A	2.0	N	N
1.1	1.1.78	A	2.0	N	N
1.1	1.1.79	A	2.0	N	N
1.1	1.1.80	A	2.0	N	N
1.1	1.1.81	A	2.0	N	N
1.1	1.1.82	A	2.0	N	N
1.1	1.1.83	A	2.0	N	N
1.1	1.1.84	A	2.0	N	N
1.1	1.1.85	A	2.0	N	N
1.1	1.1.86	A	2.0	N	N
1.1	1.1.87	A	2.0	N	N
1.1	1.1.88	A	2.0	N	N
1.1	1.1.89	A	2.0	N	N
1.1	1.1.90	A	2.0	N	N
1.1	1.1.91	A	2.0	N	N
1.1	1.1.92	A	2.0	N	N
1.1	1.1.93	A	2.0	N	N
1.1	1.1.94	A	2.0	N	N
1.1	1.1.95	A	2.0	N	N
1.1	1.1.96	A	2.0	N	N
1.1	1.1.97	A	2.0	N	N
1.1	1.1.98	A	2.0	N	N
1.1	1.1.99	A	2.0	N	N
1.1	1.1.100	A	2.0	N	N
1.1	1.1.101	A	2.0	N	N
1.1	1.1.102	A	2.0	N	N
1.1	1.1.103	A	2.0	N	N
1.1	1.1.104	A	2.0	N	N
1.1	1.1.105	A	2.0	N	N
1.1	1.1.106	A	2.0	N	N
1.1	1.1.107	A	2.0	N	N
1.1	1.1.108	A	2.0	N	N
1.1	1.1.109	A	2.0	N	N
1.1	1.1.110	A	2.0	N	N
1.1	1.1.111	A	2.0	N	N
1.1	1.1.112	A	2.0	N	N
1.1	1.1.113	A	2.0	N	N
1.1	1.1.114	A	2.0	N	N
1.1	1.1.115	A	2.0	N	N
1.1	1.1.116	A	2.0	N	N
1.1	1.1.117	A	2.0	N	N
1.1	1.1.118	A	2.0	N	N
1.1	1.1.119	A	2.0	N	N
1.1	1.1.120	A	2.0	N	N
1.1	1.1.121	A	2.0	N	N
1.1	1.1.122	A	2.0	N	N
1.1	1.1.123	A	2.0	N	N
1.1	1.1.124	A	2.0	N	N
1.1	1.1.125	A	2.0	N	N
1.1	1.1.126	A	2.0	N	N
1.1	1.1.127	A	2.0	N	N
1.1	1.1.128	A	2.0	N	N
1.1	1.1.129	A	2.0	N	N
1.1	1.1.130	A	2.0	N	N
1.1	1.1.131	A	2.0	N	N
1.1	1.1.132	A	2.0	N	N
1.1	1.1.133	A	2.0	N	N
1.1	1.1.134	A	2.0	N	N
1.1	1.1.135	A	2.0	N	N
1.1	1.1.136	A	2.0	N	N
1.1	1.1.137	A	2.0	N	N
1.1	1.1.138	A	2.0	N	N
1.1	1.1.139	A	2.0	N	N
1.1	1.1.140	A	2.0	N	N
1.1	1.1.141	A	2.0	N	N
1.1	1.1.142	A	2.0	N	N
1.1	1.1.143	A	2.0	N	N
1.1	1.1.144	A	2.0	N	N
1.1	1.1.145	A	2.0	N	N
1.1	1.1.146	A	2.0	N	N
1.1	1.1.147	A	2.0	N	N
1.1	1.1.148	A	2.0	N	N
1.1	1.1.149	A	2.0	N	N
1.1	1.1.150	A	2.0	N	N
1.1	1.1.151	A	2.0	N	N
1.1	1.1.152	A	2.0	N	N
1.1	1.1.153	A	2.0	N	N
1.1	1.1.154	A	2.0	N	N
1.1	1.1.155	A	2.0	N	N
1.1	1.1.156	A	2.0	N	N
1.1	1.1.157	A	2.0	N	N
1.1	1.1.158	A	2.0	N	N
1.1	1.1.159	A	2.0	N	N
1.1	1.1.160	A	2.0	N	N
1.1	1.1.161	A	2.0	N	N
1.1	1.1.162	A	2.0	N	N
1.1	1.1.163	A	2.0	N	N
1.1	1.1.164	A	2.0	N	N
1.1	1.1.165	A	2.0	N	N
1.1	1.1.166	A	2.0	N	N
1.1	1.1.167	A	2.0	N	N
1.1	1.1.168	A	2.0	N	N
1.1	1.1.169	A	2.0	N	N
1.1	1.1.170	A	2.0	N	N
1.1	1.1.171	A	2.0	N	N
1.1	1.1.172	A	2.0	N	N
1.1	1.1.173	A	2.0	N	N
1.1	1.1.174	A	2.0	N	N
1.1	1.1.175	A	2.0	N	N
1.1	1.1.176	A	2.0	N	N
1.1	1.1.177	A	2.0	N	N
1.1	1.1.178	A	2.0	N	N
1.1	1.1.179	A	2.0	N	N
1.1	1.1.180	A	2.0	N	N
1.1	1.1.181	A	2.0	N	N
1.1	1.1.182	A	2.0	N	N
1.1	1.1.183	A	2.0	N	N
1.1	1.1.184	A	2.0	N	N
1.1	1.1.185	A	2.0	N	N
1.1	1.1.186	A	2.0	N	N
1.1	1.1.187	A	2.0	N	N
1.1	1.1.188	A	2.0	N	N
1.1	1.1.189	A	2.0	N	N
1.1	1.1.190	A	2.0	N	N
1.1	1.1.191	A	2.0	N	N
1.1	1.1.192	A	2.0	N	N
1.1	1.1.193	A	2.0	N	N
1.1	1.1.194	A	2.0	N	N
1.1	1.1.195	A	2.0	N	N
1.1	1.1.196	A	2.0	N	N
1.1	1.1.197	A	2.0	N	N
1.1	1.1.198	A	2.0	N	N
1.1	1.1.199	A	2.0	N	N
1.1	1.1.200	A	2.0	N	N

Fonte: Elaborado pelo autor

## 5 RESULTADOS

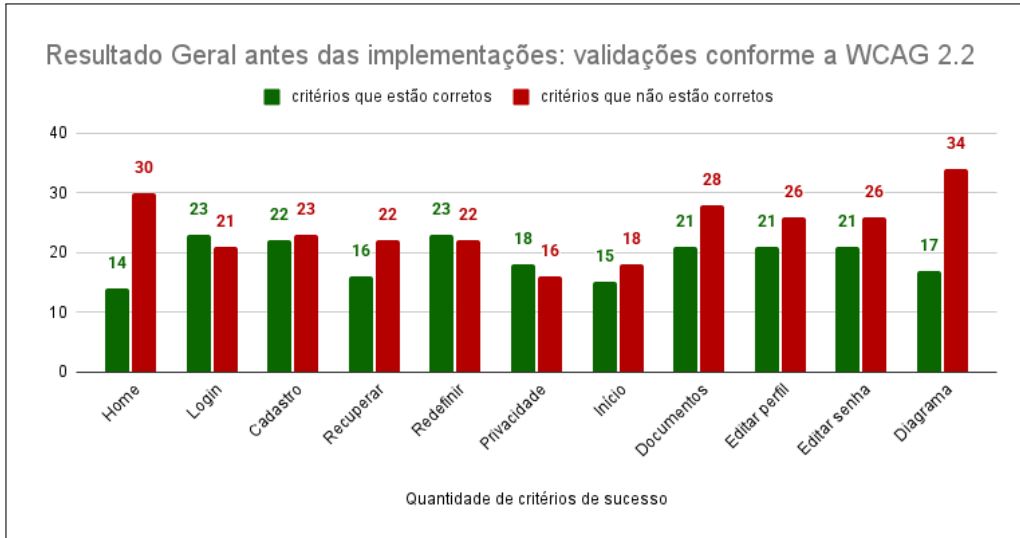
Este capítulo apresenta os resultados da avaliação de acessibilidade realizada na USINN Modeler, dividida em duas etapas: avaliação automática e avaliação manual. Para a avaliação automática, foram utilizadas as ferramentas *Accessibility Insights for Web*, *Lighthouse* e *WAVE Evaluation Tool*, que auxiliaram na identificação de problemas de acessibilidade. A análise é complementada por gráficos que destacam a quantidade de problemas encontrados em cada página, bem como a quantidade de diretrizes atendidas ou não no sistema.

Na sequência, são apresentadas as implementações realizadas no sistema, alinhadas às diretrizes da WCAG. Essas melhorias são ilustradas por meio de figuras que comparam o estado do sistema antes e após as alterações, além de um gráfico que resume a evolução dos problemas gerais após as implementações, evidenciando os avanços alcançados no desenvolvimento.

### 5.1 Resultado da avaliação da acessibilidade

Durante as avaliações, os dados foram consolidados para proporcionar uma visão geral do sistema e facilitar a compreensão dos avanços realizados. A Figura 15 ilustra essa coleta de dados, onde se observa a junção entre a avaliação automática e a avaliação manual; pode-se notar duas barras para cada página analisada. Essas barras representam a quantidade de diretrizes da WCAG que estão em conformidade ou não com a documentação estabelecida. Observa-se que, de modo geral, os critérios corretos e incorretos apresentam quantidades próximas, com uma ligeira predominância dos critérios incorretos, indicando a necessidade de melhoria.

Figura 15 – Resultado da avaliação geral antes das implementações no sistema



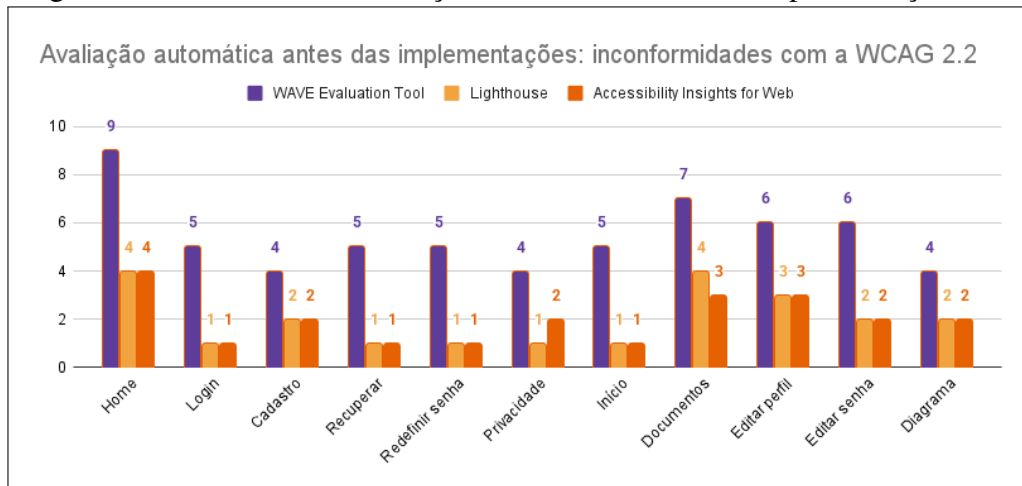
Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.1.1 Avaliação automática

Nesta etapa, serão destacados apenas os problemas identificados pelas ferramentas de avaliação automática, uma vez que elas são eficientes na detecção de inconsistências, mas não garantem a conformidade completa com todos os critérios estabelecidos pela WCAG. Essa fase foi ágil, pois as ferramentas automatizadas simplificam o processo de avaliação. No entanto, é importante ressaltar suas limitações, já que apenas uma parcela dos critérios pode ser verificada de forma automática.

Essas limitações podem ser analisadas na Figura 16, que mostra que o número máximo de problemas detectados foi 9, enquanto a WCAG estabelece um total de 87 critérios. Na mesma figura, são apresentadas três barras para cada página, representando a quantidade de critérios de sucesso em inconformidade com a documentação da WCAG e a ferramenta responsável por identificá-los. Essa visualização permite uma análise comparativa do desempenho de cada ferramenta no processo de detecção de problemas.

Figura 16 – Resultado da avaliação automática antes das implementações no sistema



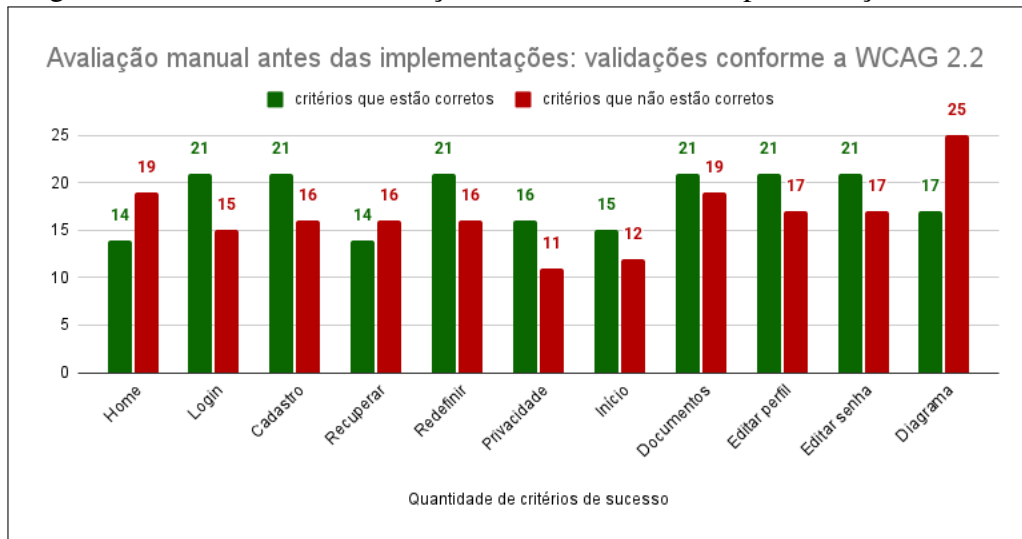
Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.1.2 Avaliação manual

Esta etapa foi mais complexa e demandou maior tempo devido à quantidade de critérios que precisaram ser analisados manualmente, bem como pela extensão da documentação da WCAG. No entanto, a documentação é bastante detalhada e clara, o que facilitou a resolução de dúvidas e a compreensão dos requisitos. Essa fase permitiu uma verificação mais precisa, garantindo a identificação correta das conformidades e inconformidades com as diretrizes estabelecidas.

Na Figura 17, é possível visualizar o resultado dessa avaliação. O gráfico apresenta duas barras para cada página, destacando a quantidade de critérios que estão em conformidade ou não com as diretrizes da WCAG. Essa representação gráfica permite uma análise clara e objetiva do nível de acessibilidade do sistema.

Figura 17 – Resultado da avaliação manual antes das implementações no sistema



Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.2 Implementação

Esta seção apresenta as diretrizes implementadas no sistema, acompanhadas de ilustrações que demonstram as melhorias realizadas. As avaliações e implementações foram conduzidas ao longo de aproximadamente 14 sprints, cada um com duração de 14 dias.

No Quadro 2, é possível visualizar um resumo detalhado das implementações. O quadro está organizado em três colunas principais: Tópico, que descreve o problema abordado; Diretrizes Implementadas, que lista os critérios da WCAG atendidos; e Solução, que traz um resumo das ações realizadas para cumprir os critérios. Além disso, cada diretriz inclui um *hiperlink* de referência para facilitar o acesso à documentação ou recursos relacionados. Essa estrutura permite uma compreensão clara e objetiva das melhorias aplicadas no sistema.

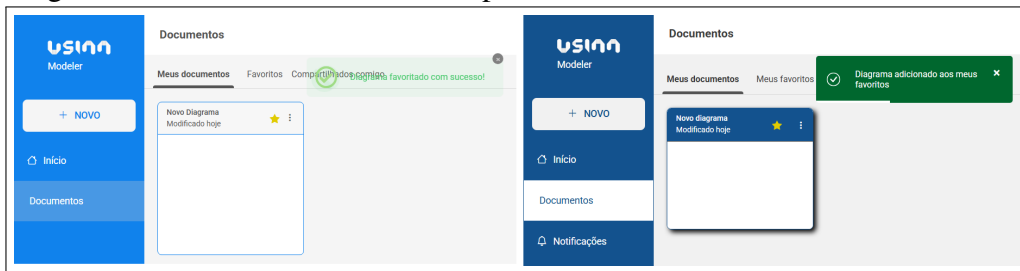
Quadro 2 – Implementações realizadas no sistema USINN Modeler

Problema	Diretrizes implementadas	Solução
Alternativas em texto	1.1.1	Os conteúdos não textuais receberam textos alternativos, como imagens, campos de textos sem labels e botões sem valor.
Adaptável	1.3.1	A semântica do código foi ajustada para se adaptar melhor aos leitores de tela.
Discernível	1.4.3, 1.4.4, 1.4.6, 1.4.10, 1.4.11	As cores e responsividade com zoom foram ajustadas para melhorar a visualização do conteúdo.
Navegável	2.4.1, 2.4.2, 2.4.4, 2.4.6, 2.4.7, 2.4.13	A navegação foi melhorada para o usuário, onde títulos, links e cabeçalhos possuem descrições mais claras das suas finalidades.
Modalidades de entrada	2.5.5, 2.5.8	As áreas dos componentes foram aumentadas, para que os usuários tenham mais facilidade de interagir com o sistema.
Legível	3.1.1, 3.1.2, 3.1.4	As páginas receberam ajuste do idioma no código, para que os leitores leiam apropriadamente.
Assistência de entrada	3.3.2	Ajudar os usuários a evitar e corrigir erros ao interagir com formulários e outros elementos de entrada de dados.
Compátivel	4.1.2	Implementação no código para que o conteúdo seja interpretável por tecnologias assistivas e navegadores.

Fonte: Elaborado pelo autor

No que se refere ao princípio de discernível, foram realizados ajustes no contraste das cores e na responsividade do texto para garantir melhor legibilidade à medida que a tela é ampliada. A Figura 18 ilustra essa melhoria, comparando duas versões do sistema: à esquerda, a interface antes das adaptações de acessibilidade, e à direita, após as implementações. Nota-se que o aumento do contraste, conforme as diretrizes da WCAG, aprimora significativamente a leitura e a identificação de componentes interativos, facilitando a navegação para usuários com deficiência visual.

Figura 18 – Resultado do antes e depois do contraste



Fonte: Elaborado pelo autor

Já a Figura 19 apresenta duas telas ampliadas em 400%. No lado esquerdo, correspondente à versão do sistema antes das implementações, onde se observa a perda de conteúdo devido à ampliação. Em contraste, no lado direito, que exibe a interface ajustada, todas as informações permanecem acessíveis. Essa melhoria garante que usuários com baixa visão possam utilizar o sistema sem prejuízo na visualização dos elementos da interface.

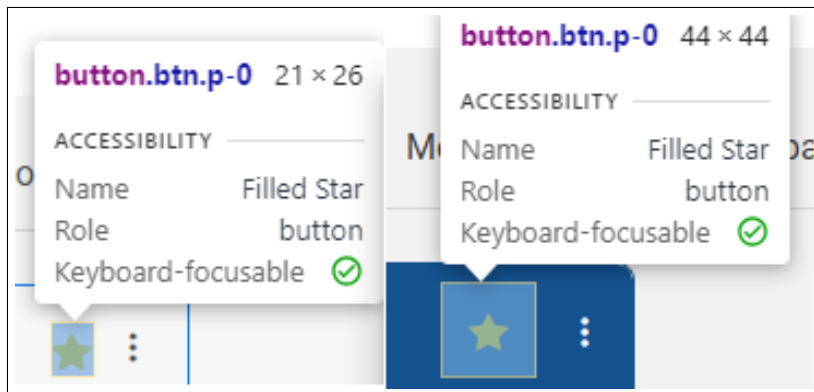
Figura 19 – Resultado do antes e depois do ajustar texto



Fonte: Elaborado pelo autor

As adaptações relacionadas às modalidades de entrada envolveram o ajuste do tamanho mínimo das áreas clicáveis, garantindo melhor usabilidade. Na Figura 20, é possível comparar duas versões de uma funcionalidade: no lado esquerdo, antes das melhorias, a área interativa era consideravelmente menor, dificultando a interação, especialmente para usuários com mobilidade reduzida. Já no lado direito, após as implementações, o tamanho foi ampliado conforme os requisitos de acessibilidade, facilitando a seleção dos elementos sem exigir alta precisão motora. Essa melhoria torna o sistema mais inclusivo e acessível para um público mais amplo.

Figura 20 – Resultado do antes e depois de ajustar o tamanho das áreas clicáveis

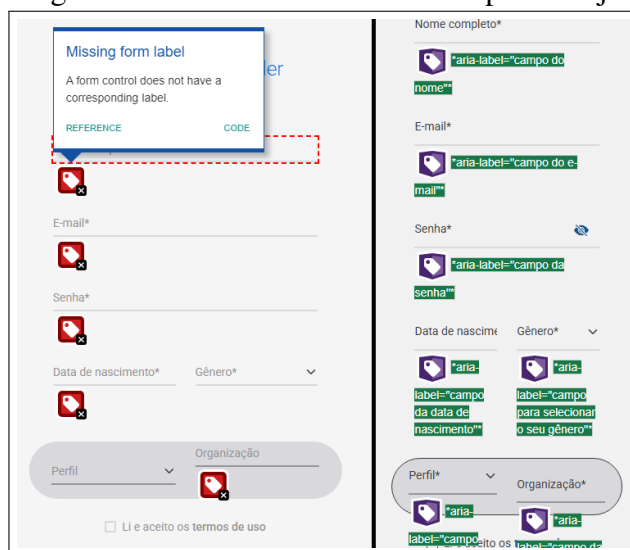


Fonte: Elaborado pelo autor

Os problemas relacionados às alternativas textuais e à adaptabilidade estão diretamente ligados à semântica do código. Em alguns casos, determinados conteúdos não podem ser interpretados por leitores de tela devido à ausência de marcação adequada. A Figura 21 ilustra essa questão, apresentando duas versões do sistema.

No lado esquerdo, antes das implementações de acessibilidade, observa-se a presença de alertas de erro que indicam a falta de identificação adequada dos campos, dificultando sua utilização por leitores de tela. Já no lado direito, após as correções, a semântica do código foi ajustada, garantindo que os leitores de tela possam interpretar corretamente os elementos e transmitir as informações de forma acessível. Essa melhoria possibilita que usuários com deficiência visual compreendam e interajam eficientemente com o sistema.

Figura 21 – Resultado do antes e depois de ajustar a semântica

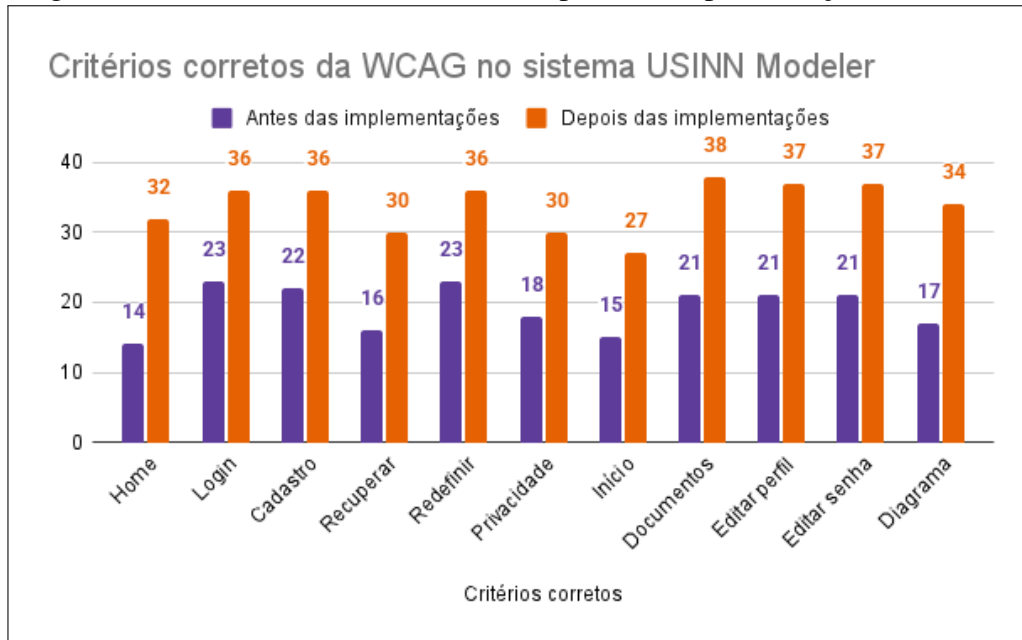


Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.2.1 Resultado da implementação

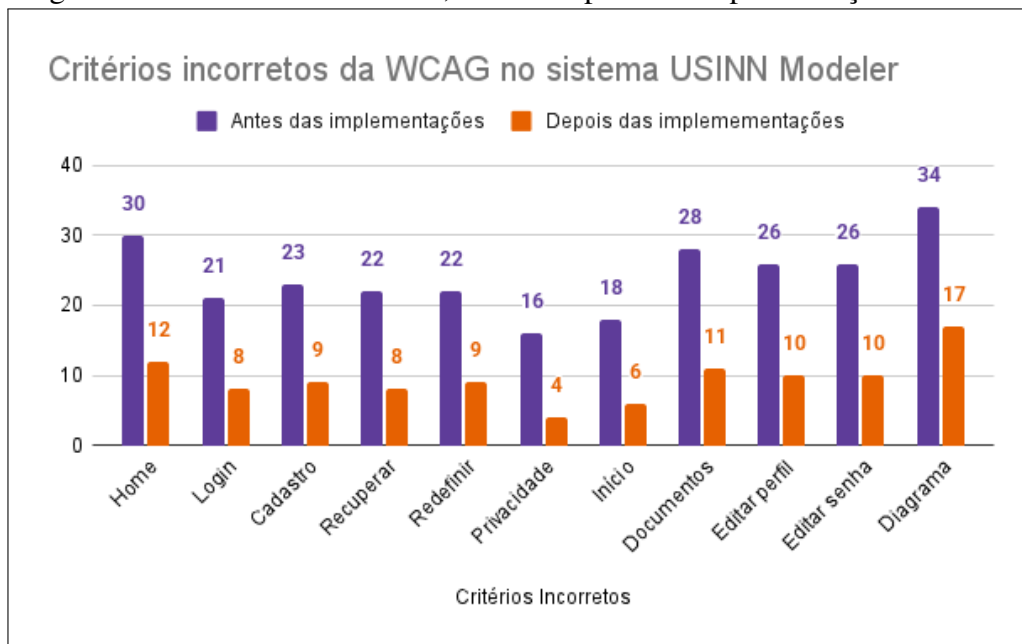
Após a implementação das melhorias, uma avaliação geral foi feita, ou seja, foram realizadas as avaliações automáticas e manuais novamente, para comparar e avaliar o progresso do sistema em relação à acessibilidade. Na Figura 22, observa-se a junção das avaliações automática e manual, apresentado um gráfico que contém duas barras para cada página, representando os critérios de sucesso que estão conforme as normas da WCAG. Na Figura 23, há um gráfico que também contém duas barras para cada página, mas com o diferencial que elas representam os critérios de sucesso que não estão conforme as normas da WCAG.

Figura 22 – Diretrizes corretas, antes e depois das implementações



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23 – Diretrizes incorretas, antes e depois das implementações



Fonte: Elaborado pelo autor

Esses gráficos evidenciam a evolução da acessibilidade no sistema USINN Modeler, demonstrando que o número de critérios de sucesso em conformidade com as diretrizes da WCAG aumentou após as implementações realizadas, como ilustrado na Figura 22. Esse avanço demonstra o progresso das melhorias implementadas para tornar o sistema mais acessível a diferentes perfis de usuários. Além disso, observa-se uma redução significativa nos critérios que anteriormente não atendiam às normas, conforme apresentado na Figura 23, indicando uma melhoria do sistema às normas da WCAG.

## 6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo avaliar a acessibilidade do sistema USINN Modeler e aprimorá-la com base nas diretrizes da WCAG. Inicialmente, foram definidas as ferramentas a serem utilizadas na avaliação, visando tornar o processo mais eficiente. Em seguida, essas ferramentas foram aplicadas para identificar barreiras de acessibilidade, e os problemas detectados foram devidamente documentados.

Além da avaliação automática, foi conduzida uma avaliação manual para verificar critérios de sucesso que as ferramentas não abordaram. Diferentemente da análise automatizada, a avaliação manual permitiu identificar com maior precisão quais critérios estavam sendo atendidos ou não, conforme as normas da WCAG.

Com os resultados das avaliações automáticas e manuais, foi possível planejar as correções necessárias em cada página do sistema. A partir disso, elaborou-se um plano de ação priorizando a resolução dos problemas identificados pelas ferramentas automáticas antes de abordar questões de menor complexidade.

Após o planejamento, foram implementadas as melhorias sugeridas pelas ferramentas automáticas, acompanhadas da documentação detalhada de cada etapa do processo. Isso possibilitou a análise comparativa do sistema antes e depois das adaptações, demonstrando os avanços alcançados na acessibilidade do USINN Modeler.

Esses resultados evidenciam a contribuição desta pesquisa para a melhoria da acessibilidade do sistema, tornando a navegação e o uso mais intuitivos para todos os usuários. No entanto, é importante destacar que nem todos os problemas foram completamente solucionados, como permitir que o usuário controle a informação visual, ajustando cores, tamanho da fonte e espaçamento; permitir o cancelamento de ações, como cadastros e edições; e garantir que ações de arrastar componentes possam ser realizadas pelo teclado ou apenas por cliques, entre outros problemas.

Complementarmente, a avaliação automática, apesar de eficiente para detectar determinadas falhas, demonstrou ser limitada ao não captar as nuances da experiência real do usuário. Essa limitação evidenciou a necessidade de complementá-la com avaliações manuais, que trouxeram lições valiosas para o aprimoramento contínuo do sistema. Entre as lições aprendidas, destacou-se a importância de se adotar uma abordagem iterativa, que permite ajustar e refinar as funcionalidades com base no feedback dos usuários e na observação direta das dificuldades encontradas durante a utilização.

Dessa forma, como trabalho futuro, sugere-se a reavaliação contínua do sistema, uma vez que ele está em constante desenvolvimento e sujeito a alterações frequentes. Essas mudanças podem comprometer a conformidade com os critérios de sucesso da WCAG 2.2, exigindo ajustes periódicos. Além disso, há critérios de sucesso que ainda não foram implementados, reforçando a necessidade de um acompanhamento contínuo para garantir uma acessibilidade cada vez mais eficaz. Em suma, diante das dificuldades enfrentadas ao longo do processo, especialmente no que diz respeito à limitação das avaliações automáticas, é de suma importância combinar abordagens automáticas e manuais para alcançar resultados mais robustos e inclusivos.

## REFERÊNCIAS

- Araújo, G. F. d. A importância da acessibilidade web. **Trabalho de conclusão de curso. (Curso superior de tecnologia em gestão da Tecnologia da Informação). Faculdade de Tecnologia de Assis, 275, 2023.**
- Bach, C. F. **Avaliação de acessibilidade na web: estudo comparativo entre métodos de avaliação com a participação de deficientes visuais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UFERJ), 2009.
- Barroso, J. V. D. Métricas para avaliação de acessibilidade em websites para usuários com baixa visão. **Trabalho de conclusão de curso (graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, 2022.**
- Consortium, W. W. W. **Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2.** World Wide Web Consortium, 2023. Disponível em: <https://www.w3c.br/traducoes/wcag/wcag22-pt-BR/>.
- Costa, M. S. V. Avaliação da acessibilidade do portal observatório de dados abertos dos sertões dos crateús. **Trabalho de conclusão de curso (graduação em Sistemas de Informação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, 2023.**
- Google. **Lighthouse.** 2024. Acessado em: 17 set. 2024. Disponível em: <https://developers.google.com/web/tools/lighthouse>.
- Marques, A. B. d. S. **USINN: um modelo de interação e navegação orientado à usabilidade.** Tese (Doutorado em Informática) – Programa de Pós-graduação em Informática: Ciência da computação, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 12 2017.
- Microsoft. **Accessibility Insights for Web.** 2024. Acessado em: 17 set. 2024. Disponível em: <https://accessibilityinsights.io/docs/web/overview/>.
- Nascimento, A. L. da S. Uma avaliação de acessibilidade do site de um laboratório de pesquisa na perspectiva de pessoas com deficiência visual. **Trabalho de conclusão de curso (graduação em Design Digital) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá, 2022.**
- Oliveira, F. E. A. de. Avaliação de acessibilidade web visual no site do sistema de avaliação da educação fundamental (saef). **Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia de Software) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, 2023.**
- Oliveira, V. A. de J.; Silva, V. C. da. **Acessibilidade em Sites e Sistemas Web: estudo das tecnologias acessivas e diretrizes de acessibilidade web.** 2018.
- Social, S. de C. **Pela primeira vez, PNAD Contínua reúne e disponibiliza dados sobre pessoas com deficiência.** Brasília: Governo Federal do Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2023/07/pela-primeira-vez-pnad-continua-reune-e-disponibiliza-dados-sobre-pessoas-com-deficiencia>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- Souza, A.; FILHO, J. C. de S.; Bezerra, C.; Alves, V. A.; Lima, L.; Marques, A. B.; Monteiro, I. T. Accessibility evaluation of web systems for people with visual impairments: Findings from a literature survey. In: **Proceedings of the XXIII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems.** [S. l.: s. n.], 2024. p. 1–13.

UFCInova. **USINN Modeler: Software de Modelagem de Interação e Navegação**. [S. l.]: Universidade Federal do Ceará, 2024. <https://ufcinova.ufc.br/pt/usinn-modeler-software-de-modelagem-de-interacao-e-navegacao/>. Acesso em: 26 ago. 2024.

WebAIM. **WAVE Web Accessibility Evaluation Tool**. 2024. Acessado em: 17 set. 2024. Disponível em: <https://wave.webaim.org/>.