CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA ACESSIBILIDADE EM VISUALIZAÇÕES DE ONTOLOGIAS BIOMÉDICAS

Daiane de Ascenção Cardoso

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre.

Orientadores:
Kele Teixeira Belloze
Felipe da Rocha Henriques

Rio de Janeiro,
Junho de 2026

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

C268 Cardoso, Daiane de Ascenção
Método para avaliação da acessibilidade em visualizações de ontologias biomédicas / Daiane de Ascenção Cardoso. — 2026.
70f. + apêndice : il. color. , enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2026.
Bibliografia : f. 70-74
Orientador: Kele Teixeira Belloze
Coorientador: Felipe da Rocha Henriques

1. Ontologias (Recuperação da informação). 2. Visualização da informação. 3. Inclusão digital. 4. Interação humano-máquina. I. Belloze, Kele Teixeira. (Orient.). II. Henriques, Felipe da Rocha. (Coorient.). III. Título.

CDD 025.04

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

Método para Avaliação da Acessibilidade em Visualizações de Ontologias Biomédicas

Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ.

Daiane de Ascenção Cardoso

Aprovada por:

Presidente, Prof. Kele Teixeira Belloze, D.Sc. (orientador)

Felipe da Rocha Henriques, D.Sc. (coorientador)

Ingrid Teixeira Monteiro, D.Sc.

Glauco Fiorott Amorim, D.Sc.

Luis Carlos dos Santos Coutinho Retondaro, D.Sc.

Rio de Janeiro,

Junho de 2026

DEDICATÓRIA

Para minha querida vovó Maria do Rosário de Brito (*in memoriam*), uma mulher que, mesmo com doença falciforme, ia para o forró às sextas-feiras. Sinto muito a sua falta.

AGRADECIMENTOS

Aos membros da banca examinadora de qualificação, o professor Glauco Amorim e o professor Luis Carlos Retondado, agradeço pela leitura cuidadosa, pelas contribuições generosas e pelo tempo dedicado a este trabalho. As sugestões e questionamentos propostos foram fundamentais para o amadurecimento desta pesquisa. Agradeço também à professora Ingrid Teixeira Monteiro por me conceder a oportunidade ímpar de submeter meu trabalho à sua avaliação experiente em uma área que tanto respeito! Obrigada por seu tempo, disponibilidade e gentileza!

À CAPES, registro meu agradecimento pelo apoio financeiro concedido durante o desenvolvimento desta dissertação. O fomento à pesquisa científica no Brasil é o que torna possível trabalhos como este, e tenho consciência do privilégio que representa contar com esse suporte. Fui beneficiada também com a licença-maternidade e me sinto honrada por, com esta pesquisa, mostrar também para outras mães que é possível realizar um trabalho com rigor técnico, amor à ciência, mas também fomentar suas especificidades e subjetividades. Ser pesquisadora sempre foi o meu sonho e fico muito feliz de poder realizá-lo de maneira íntegra e integral.

À minha querida orientadora, Kele Teixeira Belloze, minha mais profunda gratidão. Agradeço por toda a dedicação, pelo cuidado e pela gentileza com que conduz a orientação, sempre aliando rigor e amparo, sendo referência constante ao longo de todo o percurso. A parceria com ela é tudo o que eu poderia querer — e muito mais do que mereço. Sou imensamente grata pela oportunidade de pesquisar ao lado de uma profissional tão talentosa e que admiro como referência na área.

Ao meu coorientador, Felipe da Rocha Henriques, muito obrigada pela gentileza, pelas observações sempre valiosas e pela motivação que ofereceu mesmo diante das maiores adversidades. Sua generosidade fez diferença em momentos decisivos.

Aos meus pais e à minha irmã, Airton, Eurides e Dani, agradeço por serem meu suporte e minha fortaleza, inclusive, e sobretudo, nos momentos em que pensei em não continuar. Vocês são a base de tudo.

Ao meu companheiro, Pedro Paulo, e ao meu filho, Malik, que são a razão da minha vida. Obrigada por darem sentido a cada dia e por compreenderem as ausências necessárias para que esta pesquisa se concretizasse. (Meu amor, mamãe vai guardar esse texto para te mostrar no futuro! Tudo é por você e sempre será!)

À minha amiga Brena, a pessoa mais genial que conheço, agradeço por ter topado discutir

comigo cada uma das ideias mais ambiciosas desta pesquisa. Sua inteligência e disponibilidade são um presente.

Às minhas amigas Júlia Ribeiro, Thaís Carvas, Alice Santana, Gisele Mendonça, Giovanna e Gleice, obrigada pela motivação que me oferecem diariamente. A presença de vocês na minha vida é um lembrete constante de que não estou sozinha nessa caminhada.

Ao professor Eduardo Corrêa, agradeço por ter me encorajado a seguir na computação e por ter acreditado no meu potencial quando eu mesma ainda hesitava. Esse incentivo abriu o caminho até aqui.

Aos meus companheiros e ex-companheiros de trabalho, Rafaela, Tereza, Lucas, Gabriel, Diego, Caio, Carol, Vitor, Sarah, Tina, Rafael e Alessandro, obrigada pela torcida e pela ajuda cotidiana. Ter colegas que se tornam parceiros e amigos torna qualquer trajetória mais leve.

RESUMO

Método para Avaliação da Acessibilidade em Visualizações de Ontologias Biomédicas

Daiane de Ascenção Cardoso

Orientadores:
Kele Teixeira Belloze
Felipe da Rocha Henriques

Resumo da Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre.

Ontologias biomédicas são fundamentais para estruturar e comunicar conhecimento científico, mas representá-las de forma acessível permanece um desafio. Esta dissertação propõe um método sistemático e automatizável para avaliar a acessibilidade de visualizações de ontologias. Uma análise qualitativa por triangulação metodológica (usabilidade, comunicabilidade e acessibilidade) evidenciou a ausência de critérios objetivos nas ferramentas existentes. Em seguida, geraram-se 3.048 visualizações parametrizadas da classe *Hemoglobin* da *Sickle Cell Disease Ontology* (SCDO) em três configurações de contraste. Uma amostra foi rotulada manualmente pelo modelo PCHRD (Perceptível, Compreensível, Hierarquicamente claro, Rotulado efetivamente e Distinguível), adaptado do *framework Chartability*, método de classificação de acessibilidade de ontologias, revelando assimetria combinatória relevante: há mais formas de uma visualização ser inacessível do que acessível. Um *Random Forest* foi aplicado em duas iterações — sondagem da prevalência (confirmando a rotulagem) e prova de conceito com curadoria dirigida pelo PCHRD —, indicando que atributos visuais carregam sinal discriminativo. Para verificar a aplicabilidade real, construiu-se um *corpus* de imagens de artigos do *Journal of Biomedical Semantics*, classificadas por modelos multimodais (*Claude Haiku* 4.5 e *GPT-4o-mini*) e avaliadas manualmente. Por fim, empregou-se *Chain-of-Thought* para inspecionar o raciocínio dos modelos na aplicação dos critérios PCHRD, comparando classificações automáticas e julgamentos humanos. Os resultados indicam que o método prevê níveis de acessibilidade a partir de características gráficas e que o raciocínio explícito torna os modelos mais restritivos na identificação de barreiras perceptivas, podendo subsidiar *design* inclusivo na visualização de ontologias biomédicas. O trabalho oferece um protocolo replicável, formaliza o PCHRD como instrumento de avaliação e busca, e preenche uma lacuna na mensuração quantitativa da acessibilidade em visualização da informação.

Palavras-chave: Ontologias Biomédicas; Acessibilidade Digital; Visualização de Dados; InfoVis; Chartabilitty; SCDO; IHC; Interação Humano Computador.

Rio de Janeiro,

Junho de 2026

ABSTRACT

Método para Avaliação da Acessibilidade em Visualizações de Ontologias Biomédicas

Daiane de Ascenção Cardoso

Advisors:
Kele Teixeira Belloze
Felipe da Rocha Henriques

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca CEFET/RJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of master.

Biomedical ontologies play a fundamental role in structuring and communicating scientific knowledge, yet representing them accessibly remains a challenge. This dissertation proposes a systematic and automatable method for evaluating the accessibility of ontology visualizations. A qualitative analysis through methodological triangulation (usability, communicability, and accessibility) revealed the absence of objective criteria in existing tools. Subsequently, 3,048 parameterized visualizations of the *Hemoglobin* class from the *Sickle Cell Disease Ontology* (SCDO) were generated under three contrast configurations. A sample was manually labeled using the PCHRD model (Perceivable, Comprehensible, Hierarchically clear, Reliably labeled, and Distinguishable), adapted from the *Chartability framework*, revealing a relevant combinatorial asymmetry: there are more ways for a visualization to be inaccessible than accessible. A *Random Forest* was applied in two iterations — a probe of accessibility prevalence (confirming the labeling finding) and a proof of concept with PCHRD-driven sample curation —, indicating that visual attributes carry discriminative signal. To verify real-world applicability, a *corpus* of images was built from articles in the *Journal of Biomedical Semantics*, classified by multimodal models (*Claude Haiku* 4.5 and *GPT-4o-mini*) and manually evaluated. Finally, the *Chain-of-Thought* technique was adopted to inspect the models' reasoning when applying the PCHRD criteria, comparing automatic classifications with human judgments. The results indicate that the method predicts accessibility levels from graphical features and that explicit reasoning makes the models more restrictive in identifying perceptual barriers, potentially supporting inclusive design practices in biomedical ontology visualization. This work offers a replicable protocol, formalizes PCHRD as an instrument for assessment and retrieval, and fills a gap in the quantitative measurement of accessibility in information visualization.

Key-words:Biomedical Ontologies; Digital Accessibility; Data Visualization; InfoVis; Chartability; SCDO; HCI; Human-Computer Interaction

Rio de Janeiro,

Junho de 2026

Sumário

I Introdução **2**

I.1 Problema de pesquisa 2

I.2 Objetivos 3

I.2.1 Objetivo geral 3

I.2.2 Objetivos específicos 3

I.3 Justificativa 3

I.4 Metodologia e Resultados 4

I.5 Organização do trabalho 5

II Referencial teórico **6**

II.1 Ontologias: definição e complexidade biomédica 6

II.2 Visualização da informação e estruturas de redes 7

II.2.1 Tarefas comuns em *InfoVis* 7

II.2.2 Tarefas e limites de legibilidade em visualização de redes 8

II.2.3 Visualização de hierarquias e árvores 9

II.2.4 Visualização de grafos e o desafio da densidade 10

II.2.5 Exemplo com a *Sickle Cell Disease Ontology* 10

II.3 Elementos de acessibilidade digital 11

II.3.1 Diretrizes WCAG e níveis de conformidade 12

II.3.2 A usabilidade a partir dos critérios ergonômicos de Bastien e Scapin 13

II.3.3 Interação humano-computador e comunicabilidade 14

II.3.4 Usabilidade e sua relação com acessibilidade 15

II.3.5 Sistemas de recomendação de visualização 16

II.3.6 O *framework Chartability* 17

II.4 Aprendizado de máquina e visão computacional para avaliação de visualizações 19

II.4.1 O algoritmo *Random Forest* 20

II.4.2 Modelos de visão computacional e *Chain-of-Thought* 20

III Trabalhos Relacionados **21**

III.1 Metodologia da revisão 21
III.2 Acessibilidade, usabilidade e comunicabilidade 21
III.3 Qualidade e avaliação em visualização da informação 21
III.3.1 Limites perceptivos em visualização de redes 23
III.4 Visualização de ontologias (ênfase em ontologias biomédicas) 23
III.5 *Frameworks* de avaliação de acessibilidade em visualizações de dados 24
III.6 Abordagens automáticas para avaliação 25
III.7 Modelos de visão computacional e raciocínio explícito aplicados a imagens científicas 25
III.8 Síntese dos trabalhos relacionados e lacunas identificadas 26

IV Metodologia 27
IV.1 Fase 1: Seleção do objeto e escopo 27
IV.2 Fase 2: Triangulação metodológica preliminar 29
IV.2.1 Diagnóstico visual 29
IV.2.2 Evidência quantitativa da falha dos métodos atuais 30
IV.3 Fase 3: Redefinição do foco e formalização do *framework* PCHRD 30
IV.3.1 Critérios originais do *Chartability* 31
IV.3.2 Adaptação ao contexto de visualizações estáticas de ontologias 31
IV.3.3 Definição dos critérios PCHRD 31
IV.3.4 Operacionalização da rotulagem por perguntas objetivas 32
IV.3.5 Regra de decisão para acessibilidade 32
IV.4 Fase 4: Desenvolvimento dos artefatos computacionais 33
IV.4.1 Dataset estrutural: redução progressiva de complexidade 34
IV.4.2 Dataset *Hemoglobin*: parametrização visual em três sub-etapas 34
IV.4.3 Rotulagem e condições experimentais controladas 35
IV.4.4 Reconhecimento do viés de comparação (“efeito exame de vista”) 35
IV.4.5 Atributos extraídos e modelo supervisionado 36
IV.5 Fase 5: Corpora de artigos científicos e classificação por modelos de visão 37
IV.6 Fase 6: Análise do raciocínio do modelo via *Chain-of-Thought* 37

V Experimentos, Resultados e Discussão 39
V.1 Fase 1: Triangulação Metodológica Qualitativa 39
V.1.1 Objetivo da Fase 1 39
V.1.2 Ambiente experimental e configurações de acessibilidade 40
V.1.3 Procedimento de avaliação segundo WCAG 2.1 (AccessMonitor) 40
V.1.4 Procedimento ergonômico (*Ergolist* – Bastien e Scapin) 40

V.1.5 Procedimento de análise de comunicabilidade (MIS-LT) 41
V.1.6 Análise ergonômica consolidada 46
V.1.7 Integração dos procedimentos da Fase 1 47
V.2 Fase 2: Modelagem Quantitativa e Geração dos *Datasets* 47
V.2.1 Estrutura geral dos experimentos 48
V.2.2 *Dataset* Estrutural (experimento de densidade) 48
V.2.3 *Dataset Hemoglobin* (experimento de parametrização visual) 48
V.2.4 Simulações de daltonismo com o *Coblis* e *OpenCV* 50
V.2.5 Condições experimentais de rotulagem 52
V.2.6 Resultados da Fase 2 53
V.3 Fase 3: *Corpus* de Artigos Científicos do *Journal of Biomedical Semantics* 56
V.3.1 Motivação e seleção do *corpus* 56
V.3.2 Exploração preliminar via *PubMed Central* e decisão de migração 57
V.3.3 Coleta manual e escolha por modelos de visão computacional 57
V.3.4 Classificação por modelos de visão: *Claude* e *GPT-4o-mini* 58
V.3.5 Curadoria manual e decisão pelo modelo *Claude* 59
V.3.6 Resultado: predominância de *layout* hierárquico 59
V.4 Fase 4: Análise do Raciocínio do Modelo via *Chain-of-Thought* 60
V.5 Síntese Integrada dos Achados 61

VI Conclusões e Trabalhos Futuros 62
VI.1 Considerações gerais 62
VI.2 Limitações 65
VI.3 Trabalhos Futuros 66
VI.4 Considerações finais 69
Referências 69

A Dataset rotulado utilizado na avaliação 75

Lista de Figuras

II.1 Exemplo de visualização em lista indentada (árvore). Embora eficiente para navegação textual, esse formato não revela relações distantes entre classes. Fonte: BioPortal. 9

II.2 Exemplo de *layout* radial. A densidade de arestas indica o início da sobrecarga visual. Fonte: BioPortal. 10

II.3 Ilustração do "efeito bola de pelos" (*hairball effect*) em um subgrafo denso, resultando em oclusão visual. Fonte: Elaborado pela autora. 11

II.4 Adaptação do modelo de sistemas de recomendação de visualização proposto por Podo et al. [2024]. 16

II.5 Exemplo de boa acessibilidade com contraste adequado e legibilidade. 18

II.6 Exemplo de baixa acessibilidade devido ao baixo contraste. 19

IV.1 Percurso metodológico da pesquisa, detalhando as etapas de definição, diagnóstico, redefinição de foco, desenvolvimento técnico e extensão do método a *corpora* reais. 28

IV.2 Diagnóstico da visualização em lista indentada no BioPortal. O formato esconde relações transversais críticas para o entendimento da ontologia. Fonte: BioPortal. 29

IV.3 Diagnóstico da visualização radial. A densidade de arestas e a sobreposição de rótulos comprometem a acessibilidade. Fonte: BioPortal. 30

IV.4 Exemplos de visualizações geradas nas três sub-etapas do *dataset*. Fonte: Elaboração própria. 34

V.1 Relatório gerado pelo *AccessMonitor* na avaliação de 9 de março de 2023, indicando práticas acessíveis, práticas que requerem inspeção manual e práticas não acessíveis segundo a WCAG 2.1. 41

V.2 Visualização *Term Neighborhood* com *layout* vertical da classe "*Hemoglobin*" da *Sickle Cell Disease Ontology* no BioPortal. 41

V.3 Visualização *Mappings Neighborhood* com *layout* centralizado da classe "*Hemoglobin*" da *Sickle Cell Disease Ontology* no BioPortal. 42

V.4 Visualização *Path-to-root* com *layout* centralizado da classe "*Hemoglobin*" da *Sickle Cell Disease Ontology* no BioPortal. 42

V.5 Visualização em lista indentada da classe "*Hemoglobin*" da *Sickle Cell Disease Ontology* no BioPortal. 43

V.6 Simulações de daltonismo para a `combinacao_40.1`: (a) imagem original; (b) *protanomaly*; (c) *deuteranopia*; (d) *protanopia*; (e) *deuteranopia*; (f) *tritanopia*. As simulações (b) e (c) foram geradas com o *Coblis*, e as demais via *OpenCV*. Fonte: elaboração própria. 51

V.7 Geração dos datasets sintéticos, amostragem e iterações de modelagem.Fonte: Elaboração própria. 54

Lista de Tabelas

III.1 Síntese categorizada dos trabalhos revisados 26

IV.1 Perguntas objetivas utilizadas na operacionalização dos critérios do PCHRD durante a rotulagem. 33

IV.2 Amostra do *dataset* rotulado com critérios PCHRD. 33

IV.3 Condições controladas de rotulagem das visualizações sintéticas. 35

V.1 Análise ergonômica aplicada com o leitor de tela. 43

V.2 Análise ergonômica aplicada sem o leitor de tela. 44

V.3 Resultados consolidados da avaliação por critérios ergonômicos (Bastien e Scapin). 47

V.4 Perguntas objetivas utilizadas na operacionalização dos critérios do PCHRD. 52

V.5 Condições controladas para a rotulagem das visualizações sintéticas. 53

V.6 Métricas de desempenho do modelo *Random Forest* (Iteração 2). 55

V.7 Amostra de casos divergentes entre *Claude Haiku* 4.5 e *GPT-4o-mini* na classificação ontologia/não-ontologia. Conf. = confiança (escala 0–100 para *Claude*; 0–10 para *GPT*). 59

A.1 Dataset rotulado com imagens de referência e rótulos atribuídos. 75

Lista de Abreviações

CAF *Compromising, Assistive, and Flexible*

CSV *Comma-Separated Values*

IHC Interação Humano-Computador

InfoVis *Information Visualization*

MIS Método de Inspeção Semiótica

MIS-LT Método de Inspeção Semiótica com Leitores de Tela

OWL *Web Ontology Language*

PCHRD Perceptível, Compreensível, Hierarquicamente Claro, Rotulado e Distinguível

POUR Perceptível, Operável, Compreensível e Robusto

SCDO *Sickle Cell Disease Ontology*

W3C *World Wide Web Consortium*

WCAG *Web Content Accessibility Guidelines*

Capítulo I Introdução

A visualização de ontologias biomédicas é uma área estratégica na interseção entre Ciência da Computação, Ciência da Informação e Bioinformática, especialmente diante da crescente complexidade dos sistemas de conhecimento formalizado. Ontologias em formato OWL (*Web Ontology Language*) desempenham papel central na estruturação, comunicação e interoperabilidade de dados biomédicos, permitindo que pesquisadores de diferentes domínios acessem e relacionem conceitos de maneira consistente. Entretanto, apesar dos avanços significativos no desenvolvimento dessas ontologias e de repositórios especializados, como o BioPortal [Musen et al., 2008; Whetzel et al., 2011], o desafio de convertê-las em representações visuais acessíveis e interpretáveis permanece aberto.

Visualizações de ontologias assumem tipicamente a forma de grafos hierárquicos compostos por nós, arestas e camadas de abstração cuja interpretação exige tanto clareza gráfica quanto coerência semântica. A literatura de *InfoVis* (*Information Visualization*) ressalta que a construção e avaliação dessas representações dependem de fundamentos perceptivos, cognitivos e comunicacionais [Card et al., 1999; Telea, 2014]. Contudo, ao se examinar a produção científica na área, observa-se que grande parte das investigações prioriza questões estruturais ou semânticas, enquanto aspectos de acessibilidade visual permanecem pouco explorados [Katifori et al., 2007; Netto and Lima, 2017].

I.1 Problema de pesquisa

Apesar da existência de diretrizes gerais — como as do W3C (*The World Wide Web Consortium*)[1] —, não há na literatura um método consolidado e quantitativo voltado à acessibilidade de visualizações de ontologias. A inexistência de *datasets* públicos rotulados para esse fim agrava o problema, pois inviabiliza a aplicação direta de técnicas de aprendizado de máquina e exige que o próprio processo de rotulagem seja construído como parte da pesquisa. Diante disso, o problema de pesquisa é formulado da seguinte maneira: como mensurar, de forma sistemática e automatizável, a acessibilidade de visualizações de ontologias biomédicas, a partir de critérios perceptivos e atributos visuais quantitativos, sem a dependência exclusiva de testes com usuários?

[1] Diretrizes disponíveis em: `https://www.w3.org/TR/WCAG22/`

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo geral

Propor, implementar e avaliar um método original para mensurar a acessibilidade de visualizações de ontologias biomédicas, partindo de uma análise qualitativa de triangulação e consolidando-se por meio de técnicas de aprendizado de máquina supervisionado e de modelos de visão computacional aplicados a *corpora* reais.

I.2.2 Objetivos específicos

1. Realizar uma análise qualitativa preliminar de visualizações de ontologias utilizando triangulação de usabilidade, comunicabilidade e acessibilidade.

2. Definir e formalizar o modelo inédito de critérios PCHRD (Perceptível, Compreensível, Hierarquicamente claro, Rotulado efetivamente e Distinguível), criado como adaptação do framework clássico de aferição de acessibilidade de dados *Chartability* às particularidades de ontologias.

3. Desenvolver um mecanismo de geração automatizada de visualizações parametrizadas da classe *Hemoglobin* da ontologia SCDO sob diferentes configurações de contraste.

4. Construir um *dataset* estruturado de imagens de grafos, rotulado manualmente segundo o PCHRD.

5. Empregar um modelo *Random Forest* em duas iterações complementares: a primeira como sondagem da prevalência de acessibilidade no espaço paramétrico aleatório; a segunda, com curadoria amostral dirigida pelo PCHRD, como prova de conceito de que atributos visuais carregam sinal discriminativo para acessibilidade.

6. Estender a avaliação a um *corpus* de imagens reais extraídas de artigos científicos, utilizando modelos de IA generativa com habilidades de visão computacional para classificar ontologias e curadoria manual para validação.

7. Inspecionar, por meio da técnica de *Chain-of-Thought*, o raciocínio dos modelos na operacionalização dos critérios PCHRD e compará-lo aos julgamentos humanos.

I.3 Justificativa

A relevância deste trabalho sustenta-se na convergência de fatores técnicos e sociais. Primeiramente, as ontologias biomédicas são vitais para a organização do conhecimento em saúde, e suas representações visuais precisam ser compreensíveis para um público amplo. Em segundo lugar, a

diversidade de dispositivos (telas, velocidade de rede) e de perfis de usuários exige que a avaliação de acessibilidade não seja apenas subjetiva, mas baseada em métricas robustas. Por fim, a pesquisa preenche uma lacuna na literatura ao aplicar aprendizado de máquina e modelos de visão computacional à avaliação de acessibilidade, fomentando futuros estudos na área sem a participação direta de usuários.

I.4 Metodologia e Resultados

Para compreender as múltiplas dimensões que influenciam a qualidade dessas visualizações, esta pesquisa adotou uma abordagem híbrida, combinando uma análise qualitativa e proposições quantitativas. Inicialmente, conduziu-se uma fase exploratória fundamentada em uma triangulação metodológica envolvendo três eixos analíticos: usabilidade, comunicabilidade e acessibilidade. Inspirada em abordagens contemporâneas de avaliação de visualizações complexas em Interação Humano-Computador (IHC), que culminaram no trabalho apresentado em Cardoso et al. [2023], essa fase permitiu examinar como princípios da Engenharia Semiótica e heurísticas ergonômicas se articulam com as especificidades das ontologias. Essa etapa revelou descontinuidades gráficas e limitações de acessibilidade em uma ferramenta consolidada, evidenciando que a principal lacuna científica não residia apenas na usabilidade geral, mas na ausência de critérios formais para avaliar a acessibilidade visual de forma escalável sem a experimentação com usuários.

A partir desse diagnóstico, a pesquisa avançou para um recorte tecnicamente delimitado: a necessidade de estruturar um método objetivo, independente da participação direta de usuários para cada nova visualização gerada. Para tal, desenvolveram-se visualizações parametrizadas (utilizando as bibliotecas *RDFLib*, *Matplotlib* e *NetworkX*) da classe *Hemoglobin* da *Sickle Cell Disease Ontology* (SCDO) [Adekile et al., 2019; Mazandu et al., 2022] sob três configurações de contraste, compondo um universo de 3.048 imagens.

Esse processo resultou na criação de um *dataset* cuja amostra foi rotulada manualmente segundo o modelo PCHRD, conjunto de critérios — Perceptível, Compreensível, Hierarquicamente Claro, Rotulado e Distinguível — desenvolvido nesta dissertação como adaptação do *framework Chartability*. O *Chartability* é um modelo de heurísticas de acessibilidade para visualizações de dados que sistematiza princípios voltados à legibilidade, interpretabilidade e uso equitativo de gráficos, articulando diretrizes de acessibilidade com aspectos perceptivos e cognitivos da visualização da informação. O *framework* propõe critérios avaliativos que permitem mensurar, de forma estruturada, como escolhas visuais influenciam a compreensão e a acessibilidade de representações gráficas, especialmente em contextos complexos e densos em informação [Elavsky et al., 2022].

A rotulagem evidenciou uma assimetria combinatória relevante: no espaço paramétrico aleatório, há substancialmente mais formas de uma visualização ser inacessível do que acessível. Essa

assimetria orientou o desenho dos experimentos de modelagem supervisionada. Um modelo *Random Forest* foi empregado em duas iterações complementares: a primeira, treinada sobre amostragem aleatória, atuou como sondagem da prevalência de acessibilidade e confirmou computacionalmente o achado da rotulagem; a segunda, com curadoria amostral dirigida pelo PCHRD, atuou como prova de conceito de que atributos visuais extraídos carregam sinal discriminativo quando há exemplos positivos suficientes. Esse desenho posiciona o PCHRD não apenas como instrumento de avaliação, mas também como instrumento de busca dirigida no espaço paramétrico.

Para verificar a aplicabilidade do método para além do contexto sintético e controlado, a pesquisa foi estendida a um *corpus* de imagens reais extraídas de artigos científicos do *Journal of Biomedical Semantics*. Nessa etapa, foram empregados os modelos de visão computacional *Claude Haiku* 4.5 e *GPT-4o-mini* para classificar automaticamente as imagens como visualizações ontológicas ou não, seguidos de curadoria manual e avaliação segundo o modelo PCHRD. Essa extensão permitiu observar como especialistas da área expressam e comunicam graficamente o conhecimento ontológico e em que medida as convenções visuais adotadas atendem a critérios de acessibilidade. Complementarmente, adotou-se a técnica de *Chain-of-Thought* (CoT) para inspecionar o raciocínio dos modelos na operacionalização de cada critério PCHRD, comparando as inferências automáticas com os julgamentos humanos previamente registrados. Essa análise revelou que o raciocínio explícito torna os modelos mais restritivos na identificação de barreiras perceptivas, com implicações metodológicas relevantes para o uso de modelos de visão como avaliadores automatizados de acessibilidade.

I.5 Organização do trabalho

Além desta introdução, esta dissertação organiza-se da seguinte forma: o Capítulo II apresenta a fundamentação teórica. O Capítulo III discute os trabalhos relacionados e lacunas. O Capítulo IV descreve o percurso metodológico detalhado, em seis fases. O Capítulo V detalha como os experimentos foram conduzidos, incluindo a construção de *corpora* reais e a análise do raciocínio dos modelos via *Chain-of-Thought*, e discute o desempenho dos modelos. Por fim, o Capítulo VI sintetiza as contribuições e aponta direções futuras.

Capítulo II Referencial teórico

A fundamentação teórica desta dissertação articula quatro domínios centrais: visualização da informação (*InfoVis*), acessibilidade digital (em articulação com os campos correlatos de usabilidade e comunicabilidade), ontologias e técnicas de aprendizado de máquina supervisionado e de visão computacional. A intersecção entre esses campos é essencial para compreender o problema investigado: como avaliar, de maneira sistemática, a acessibilidade perceptiva e cognitiva de visualizações ontológicas complexas e, subsequentemente, como automatizar essa avaliação tanto em contextos sintéticos quanto em *corpora* reais. Os fundamentos discutidos aqui subsidiam diretamente o modelo metodológico apresentado nos capítulos seguintes.

Este capítulo apresenta os conceitos que sustentam a metodologia adotada, estabelecendo uma progressão lógica: inicia-se com a definição de ontologias, aprofunda-se utilizando fundamentos de *InfoVis* e na particularidade estrutural das ontologias, avança para modelos de acessibilidade e interação humano-computador e culmina na formalização computacional que permite a aplicação de aprendizado de máquina e de modelos de visão computacional.

II.1 Ontologias: definição e complexidade biomédica

Ontologias são estruturas que dependem de visualizações para se tornarem interpretáveis e, simultaneamente, possuem características internas que desafiam os limites da visualização tradicional. Ontologias são artefatos formais de *software* que modelam conhecimento de domínio por meio de classes, relações e axiomas lógicos [Washington and Lewis, 2008]. Na área biomédica, sua complexidade é particularmente elevada devido à grande granularidade de conceitos clínicos, à coexistência de múltiplas hierarquias sobrepostas e à presença de relações transversais que ampliam sua densidade estrutural.

Segundo Freitas [2005], ontologias podem ser classificadas em gerais, de domínio, de tarefas e de aplicação. Em termos de visualização, Katifori et al. [2007] identificam múltiplas estratégias (listas indentadas, grafos de nós e links, *layouts* 3D, foco+contexto etc.). Essa multiplicidade reforça a necessidade de critérios para avaliar a acessibilidade desses artefatos, especialmente em contextos nos quais a interpretação visual é prejudicada.

II.2 Visualização da informação e estruturas de redes

A Visualização da Informação (*InfoVis*) constitui a base conceitual deste trabalho, pois define os princípios pelos quais dados abstratos se tornam representações visuais interpretáveis. Segundo Card et al. [1999], a visualização não tem por finalidade a imagem em si, mas a "cristalização do conhecimento" que decorre da interação entre usuário e artefato visual. Assim, torna-se fundamental compreender como operações como visão geral, *zoom*, filtragem, detalhes sob demanda, relacionamento e extração Plaisant [2005] moldam a experiência cognitiva de interpretação dos dados.

Para Telea [2014], visualizações são artefatos que representam minimundos computacionais e podem assumir estruturas lineares, planares, volumétricas, temporais ou relacionais. Cada formato impõe modos específicos de leitura e distintas cargas cognitivas, impactando diretamente a compreensão e, como discutido adiante, a acessibilidade. Essa base conceitual torna-se particularmente relevante, porque ontologias são estruturas altamente relacionais e densas, exigindo ferramentas que auxiliem o usuário na extração de significado.

A complexidade de uma ontologia pode ser quantificada para fins de análise computacional, ou seja, há medida relevante para pensar em seu processamento. Métricas como densidade de arestas (razão entre conexões e nós), profundidade hierárquica máxima e fator de ramificação influenciam diretamente a carga cognitiva exigida do usuário [Dudáš et al., 2018]. Ontologias com grande profundidade e elevada densidade relacional exigem estratégias visuais mais robustas e sofisticadas para serem plenamente compreendidas.

II.2.1 Tarefas comuns em *InfoVis*

Entre as tarefas mais recorrentes em *InfoVis*, destacam-se oito ações amplamente discutidas na literatura e sistematizadas por Plaisant [2005]: visão geral, *zoom*, filtragem, detalhes sob demanda, apresentação de relações, histórico, extração e relato. Essas tarefas descrevem, em termos técnicos, como os usuários interagem com uma visualização, quais operações realizam e de que forma essas operações contribuem para a obtenção de informações relevantes e para a resolução de problemas reais.

A visão geral é a tarefa que permite ao usuário compreender o conjunto da informação de modo amplo. No caso de ontologias, a visão geral possibilita ao especialista perceber o contexto do domínio representado e identificar como os nós se articulam na estrutura hierárquica. Contudo, esse processo se torna particularmente desafiador em ontologias de médio e grande porte, dadas as limitações da cognição humana para processar grandes quantidades de dados em suportes restritos, como telas ou superfícies impressas.

Ainda segundo Plaisant [2005], a escolha do formato de apresentação em *InfoVis* deve considerar

a amplitude do espaço de possibilidades, pois, mesmo quando o tipo de gráfico é previamente definido, o número de combinações visuais permanece elevado. Por exemplo, ao optar por um gráfico de dispersão, que já fixa boa parte das variáveis gráficas, ainda é possível representar até $\frac{n\times(n-1)}{2}$ combinações de dimensões potencialmente significativas. Cada uma dessas visões deve ser avaliada individualmente quanto à sua utilidade, considerando a eficácia das codificações visuais adotadas, tais como mapeamento de cores, marcas, escalas e intervalos dos eixos [Plaisant, 2005].

II.2.2 Tarefas e limites de legibilidade em visualização de redes

Shneiderman and Aris [2006] sistematizaram os desafios específicos da visualização de redes, ao observar que visualizações "impressionantes" com muitos nós e arestas cruzadas frequentemente impossibilitam que os usuários contem nós, sigam conexões de origem a destino ou determinem o grau de cada nó. A partir da análise de centenas de visualizações de redes, os autores concluíram que as representações mais eficazes apresentam entre 10 e 50 nós e entre 20 e 100 arestas. Esse seria um intervalo no qual é possível realizar tarefas como contar elementos, seguir ligações e identificar padrões estruturais sem sobrecarga perceptiva. Tal achado empírico da literatura de *InfoVis* converge com os limites estruturais que serão apresentados nos experimentos desta dissertação (Capítulo V), nos quais visualizações rasterizadas de ontologias tornam-se inteligíveis apenas quando contêm cerca de 30 nós.

Shneiderman and Aris [2006] também organizaram as tarefas recorrentes em visualizações de redes em uma taxonomia que inclui, entre outras: contar nós e arestas (T1), determinar o grau de cada nó (T2), identificar vizinhos a distâncias 1, 2 ou 3 (T3), encontrar *clusters* compactos (T7), localizar caminhos mais curtos entre pares de nós (T8), ler rótulos (T9) e identificar ligações entre nós com atributos distintos (T11). Essa taxonomia é diretamente relevante para visualizações ontológicas, nas quais hierarquias taxonômicas exigem que o usuário identifique classes, subclasses, relações transversais e agrupamentos conceituais. Vários critérios do modelo PCHRD, proposto nesta dissertação, operacionalizam condições necessárias para que essas tarefas sejam executáveis: o critério Perceptível (P) condiciona T1 e T2; o critério Hierarquicamente Claro (H) condiciona T3 e T7; e o critério Rotulado (R) condiciona T9 e T11.

Para lidar com a densidade de redes complexas, Shneiderman and Aris [2006] propõem os *semantic substrates*, regiões definidas pelo usuário que não são sobrepostas na tela, nas quais os nós são posicionados segundo seus atributos, combinadas a controles interativos de visibilidade de arestas. Essa estratégia é promissora em contextos interativos, mas pressupõe que o usuário possa manipular a visualização em tempo real. Visualizações ontológicas incorporadas a artigos científicos, como as que compõem o *corpus* real desta dissertação, são estáticas e rasterizadas, não permitindo essa manipulação. Nesses casos, a acessibilidade digital precisa estar incorporada desde o momento da

criação, o que reforça a necessidade de um método avaliativo como o proposto neste trabalho.

II.2.3 Visualização de hierarquias e árvores

Ontologias frequentemente utilizam relações hierárquicas taxonômicas. A forma mais elementar de visualização dessa estrutura é a lista indentada ou árvore textual, ilustrada na Figura II.1. Embora adequada para navegação linear, essa representação tende a ocultar relações distantes ou laterais entre conceitos, o que se torna particularmente problemático em ontologias biomédicas com múltiplos níveis de profundidade. Em outras palavras, uma lista não reflete de forma plena a hierarquia e a complexidade semântica de suas classes.

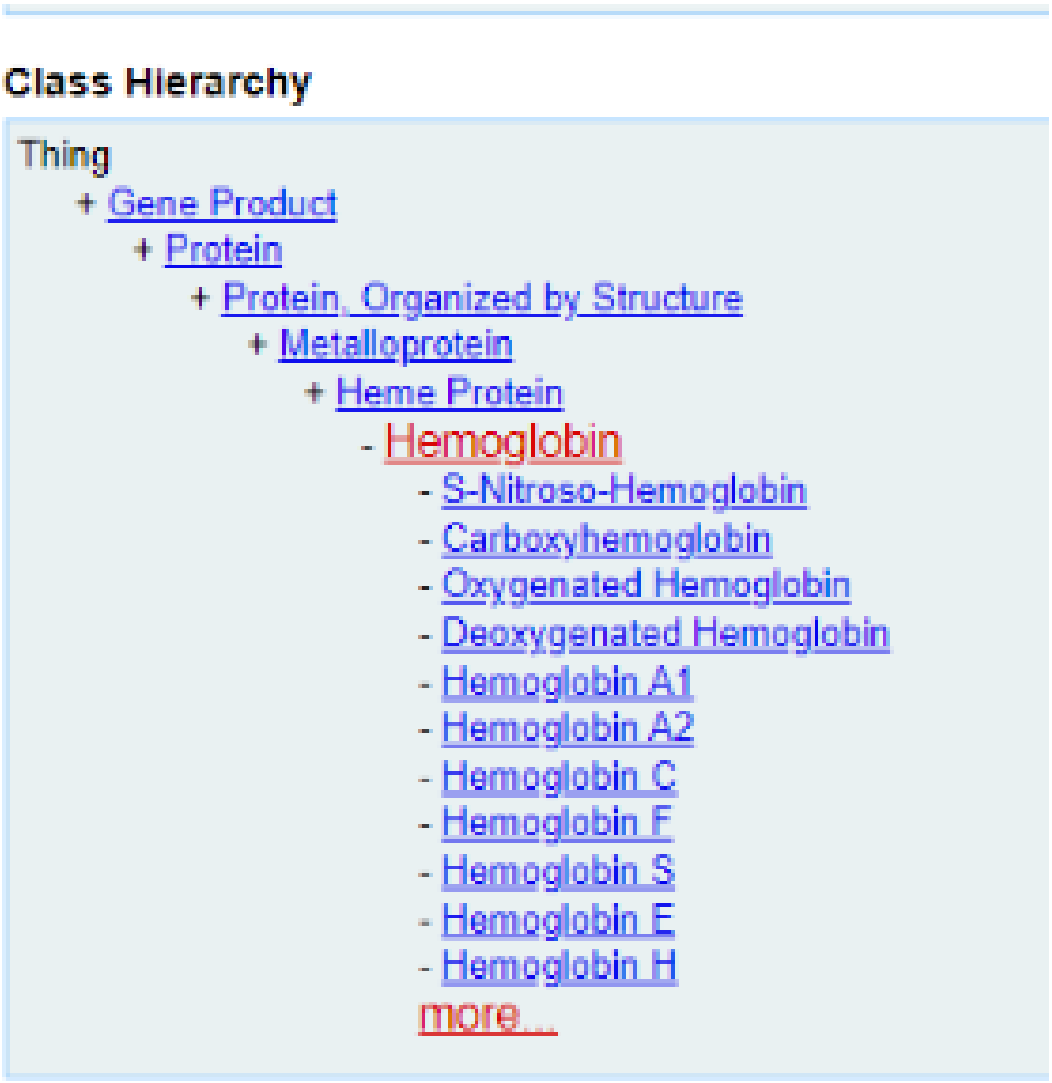


Figura II.1: Exemplo de visualização em lista indentada (árvore). Embora eficiente para navegação textual, esse formato não revela relações distantes entre classes. Fonte: BioPortal.

II.2.4 Visualização de grafos e o desafio da densidade

À medida que as ontologias se tornam mais complexas e inter-relacionadas, a visualização hierárquica deixa de ser suficiente. Nesse contexto, representações em grafo tornam-se mais adequadas, pois permitem observar relações paralelas, transversais e estruturas que vão além da taxonomia [Katifori et al., 2007].

Algoritmos de *layout*, como radiais e força-dirigida, tentam organizar visualmente essas estruturas para evidenciar padrões e agrupamentos conceituais (*clusters*) [Katifori et al., 2007]. Contudo, ontologias densas frequentemente apresentam sobrecarga visual, como mostrado na Figura II.2, dificultando a interpretação dos elementos e aumentando a carga cognitiva necessária para distinguir grupos, identificar nós principais e compreender trajetórias semânticas.

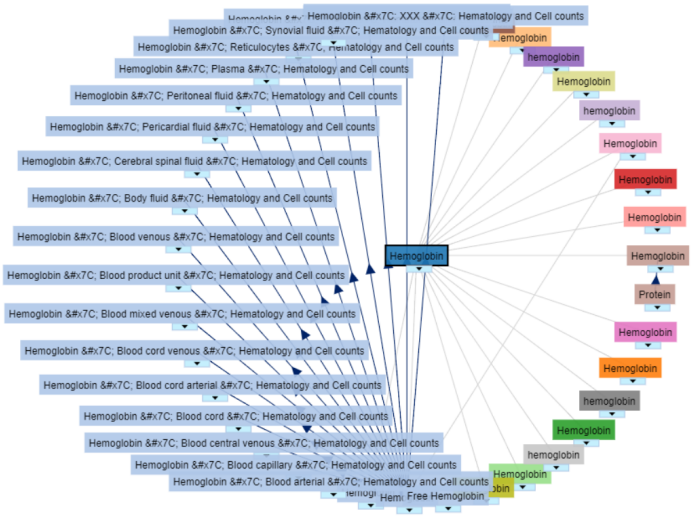


Figura II.2: Exemplo de *layout* radial. A densidade de arestas indica o início da sobrecarga visual. Fonte: BioPortal.

Esse aumento de densidade leva ao chamado "efeito bola de pelos" (*hairball effect*), ilustrado na Figura II.3 [Longabaugh, 2012]. Esse fenômeno não apenas dificulta a percepção visual, devido à oclusão, sobreposição de nós e perda de separabilidade espacial, como também representa uma barreira de acessibilidade, pois compromete a leitura eficiente para usuários com baixa visão, dificuldades cognitivas ou necessidades específicas de distinção visual. Essa limitação é coerente com o intervalo empírico de 10 a 50 nós identificado por Shneiderman and Aris [2006] como faixa de legibilidade em visualizações de redes, acima da qual as tarefas perceptivas básicas tornam-se inviáveis.

II.2.5 Exemplo com a *Sickle Cell Disease Ontology*

A *Sickle Cell Disease Ontology* (SCDO) [Adekile et al., 2019] (Ontologia da Doença Falciforme) exemplifica a alta complexidade biomédica. Sua combinação de profundidade hierárquica e densi-

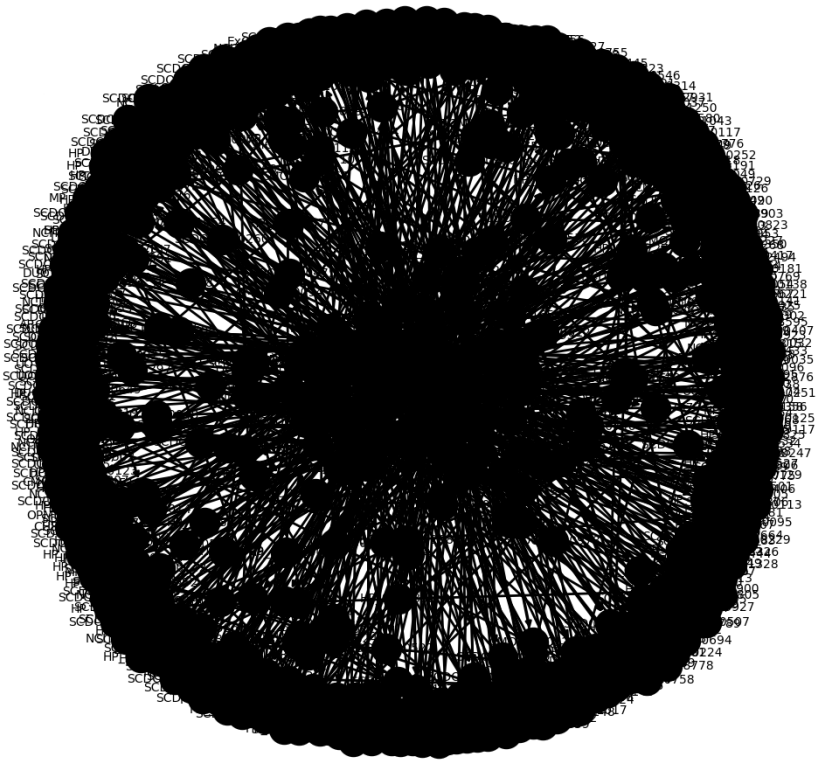


Figura II.3: Ilustração do "efeito bola de pelos" (*hairball effect*) em um subgrafo denso, resultando em oclusão visual. Fonte: Elaborado pela autora.

dade relacional a torna propícia para testar tanto as limitações visuais discutidas na *InfoVis* quanto as demandas de acessibilidade exploradas nas seções seguintes. Assim, a SCDO atua como um ponto de conexão entre as avaliações de IHC e as tratativas de aprendizado de máquina desta dissertação.

II.3 Elementos de acessibilidade digital

Após estabelecer as bases de *InfoVis* e a complexidade das ontologias, o próximo passo é analisar como usuários interagem com essas representações e quais barreiras surgem nesse processo. A acessibilidade digital estabelece o arcabouço que orienta essa análise, ao exigir que sistemas atendam usuários com diferentes perfis cognitivos, sensoriais e motores [Sevilla et al., 2007]. As diretrizes do W3C reforçam que interfaces devem ser perceptíveis, operáveis, compreensíveis e robustas [World Wide Web Consortium et al., 2013].

Cabe observar que, quando aplicadas a visualizações ontológicas, essas diretrizes encontram desafios específicos. Por exemplo, um grafo visualmente denso pode ser tecnicamente acessível a leitores de tela, mas ainda assim inviável para interpretação humana, revelando a necessidade de métodos adaptados ao contexto de *InfoVis*.

É importante destacar que acessibilidade visual não se reduz ao atendimento de pessoas cegas.

Pesquisas em acessibilidade tendem a tratar cegueira e baixa visão funcional como um mesmo grupo, mas, na prática, usuários com baixa visão funcional, aqui definida como acuidade visual com a melhor correção no olho mais funcional <30, cuja causa não é tratável ou corrigível [Ferreira, 2021] , utilizam tecnologias assistivas distintas — como magnificadores de tela (lupas físicas, aplicativos ou softwares) e aumentadores de contraste — e mobilizam estratégias híbridas de interação que combinam visão residual, ampliação e, em alguns casos, leitor de tela [Elavsky et al., 2022]. Para visualizações densas como grafos ontológicos, essa distinção é crítica: ampliar uma imagem com sobreposição de nós não resolve a oclusão visual; apenas redistribui o caos em uma escala maior. Essa característica justifica a adoção, nesta pesquisa, de critérios perceptivos que vão além da conformidade técnica com leitores de tela.

Embora distintos, três conceitos foram escolhidos para a base teórica e uma avaliação completa:

1. Acessibilidade: garante o acesso sem barreiras.

2. Usabilidade: foca na eficiência e satisfação [Nielsen, 1994]. Um sistema pode ser acessível em um aspecto (leitores de tela leem), mas não usável (navegação inadequada).

3. Comunicabilidade: avaliada pela Engenharia Semiótica, refere-se à capacidade do *designer* de transmitir sua intenção ao usuário [Leitão, 2013].

Em visualizações complexas, esses três eixos tornam-se interdependentes: uma visualização pode ser acessível, mas pouco usável, ou usável, mas comunicacionalmente ambígua. Esta pesquisa adota uma abordagem integrada desses aspectos para compor o modelo de avaliação proposto.

II.3.1 Diretrizes WCAG e níveis de conformidade

As Diretrizes de Acessibilidade para Conteúdo Web (WCAG), desenvolvidas pelo W3C, são o padrão internacional para acessibilidade digital. A versão 2.1 estrutura-se sobre quatro princípios fundamentais: o conteúdo deve ser **Perceptível**, **Operável**, **Compreensível** e **Robusto** (POUR) [World Wide Web Consortium et al., 2013].

Um aspecto crítico para a avaliação automática, como a realizada nesta pesquisa por meio do avaliador automático do governo português *AccessMonitor*[1], é a divisão hierárquica em três níveis de conformidade:

- **Nível A (Básico):** estabelece os requisitos mínimos de acessibilidade. Se estes critérios não forem atendidos, o conteúdo torna-se impossível de acessar para determinados grupos de usuários. Exemplo: fornecer texto alternativo para imagens não decorativas.

[1] Acesso em: `https://accessmonitor.acessibilidade.gov.pt/`

- **Nível AA (Intermediário):** é o padrão alvo para a maioria das legislações internacionais e corporativas. Aborda as barreiras mais comuns e significativas para usuários com deficiência. Exemplo: contraste mínimo de 4.5:1 entre texto e fundo.
- **Nível AAA (Avançado):** representa o mais alto nível de acessibilidade, exigindo refinamentos específicos, como contraste aprimorado (7:1) e suporte a leitura avançada.

Neste trabalho, a conformidade é observada não como um estado binário, mas como um espectro que impacta a experiência do usuário de formas distintas dependendo da severidade da barreira.

II.3.2 A usabilidade a partir dos critérios ergonômicos de Bastien e Scapin

Enquanto a WCAG foca na acessibilidade técnica, a ergonomia de interfaces concentra-se na eficiência e satisfação da interação. Os Critérios Ergonômicos estabelecidos por Bastien e Scapin (1993) fornecem uma base heurística consolidada para inspeções de usabilidade sem usuários (métodos de inspeção).

Estes critérios, que fundamentam a ferramenta *Ergolist* [CYBIS et al., 2009] utilizada na fase de diagnóstico desta pesquisa, são organizados em oito dimensões principais:

1. **Condução (*Guidance*):** meios disponíveis para aconselhar, orientar e informar o usuário (inclui *Feedback* e Legibilidade).
2. **Carga de Trabalho:** refere-se à eficiência perceptual e cognitiva, buscando minimizar a densidade informacional desnecessária.
3. **Controle Explícito:** o sistema deve responder apenas às ações definidas pelo usuário, permitindo interrupção e cancelamento.
4. **Adaptabilidade:** flexibilidade do sistema para diferentes níveis de experiência do usuário.
5. **Gestão de Erros:** mecanismos de proteção, mensagem e correção de erros.
6. **Homogeneidade/Coerência:** estabilidade da interface em diferentes contextos.
7. **Significado de Códigos e Denominações:** relação semântica entre o termo/signo utilizado e sua função.
8. **Compatibilidade:** adequação da interface às características do usuário e da tarefa.

A aplicação desses critérios é essencial para avaliar ontologias, pois uma visualização pode ser acessível ao leitor de tela (WCAG), mas violar critérios de Carga de Trabalho (excesso de nós) ou Significado (rótulos ambíguos), tornando-se cognitivamente inacessível.

II.3.3 Interação humano-computador e comunicabilidade

A ponte entre acessibilidade e compreensão visual é aprofundada pela Interação Humano-Computador (IHC). Dentro da IHC, a Engenharia Semiótica constitui uma teoria explicativa específica: enquanto a IHC, de modo amplo, estuda a relação entre pessoas e sistemas interativos — abrangendo usabilidade e acessibilidade —, a Engenharia Semiótica oferece um arcabouço para analisar *como* o *designer* comunica ao usuário, por meio da interface, suas intenções de uso. A Engenharia Semiótica, cuja origem se baseia na semiótica de Peirce, entende sistemas computacionais como mensagens enviadas pelo *designer* ao usuário por meio de signos estáticos e dinâmicos [Prates and Barbosa, 2007; Leitão, 2013].

A semiótica é considerada "a ciência de toda e qualquer linguagem" e auxilia na construção de um referencial sobre a habilidade humana de se comunicar por meio de qualquer construto, incluindo aqueles de natureza comunicacional [Santaella, 2017]. Os signos são objetos de estudo da semiótica e englobam tudo que possui algum significado para alguém [Leitão, 2013]. Os signos são extremamente variados no tempo e no espaço, o que demanda uma investigação contínua e situada culturalmente. Dentre os diversos tipos de signos, a Engenharia Semiótica conceitua três deles que são utilizados para avaliar a comunicabilidade de um artefato *web*: **signos estáticos** (presentes nas telas de interface), **signos dinâmicos** (que surgem durante a interação com o artefato) e **signos metalinguísticos** (referentes a outros signos estáticos e dinâmicos presentes na interface).

Para compreender a Engenharia Semiótica e suas aplicações, é importante reconhecer que, nas interações cotidianas com os sistemas ao nosso redor, existe um sentido previamente estabelecido, sendo constantemente definido pelos interlocutores envolvidos. Tradicionalmente, essas interações ocorrem entre três partes: o *designer*, o usuário e o sistema interativo. Essas interações podem ser divididas em dois níveis principais: a interação direta entre usuário e sistema e aquela que depende da metacomunicação do *designer* para o usuário, mediada pela interface projetada [Dias, 2005]. O conceito de comunicabilidade surge a partir da avaliação qualitativa do sucesso da transmissão dessa metacomunicação, ou seja, quanto melhor o usuário compreende as intenções do *designer* ao criar o sistema, maior é a comunicabilidade [Dias, 2005].

Existem dois métodos amplamente estabelecidos para a avaliação da comunicabilidade: o Método de Avaliação da Comunicabilidade (MAC) e o Método de Inspeção Semiótica (MIS). O MAC objetiva essencialmente comparar avaliações de usuários a fim de diminuir o viés da interpretação e proporcionar um consenso nas avaliações [de Castro Salgado and de Souza, 2007]. Ele pode ser definido como "um caminho para identificação e análise dos pontos onde o *designer* pode ter falhado (ou vir a falhar) na comunicação da sua mensagem aos usuários. Oferece adicionalmente aos usuários que participam do processo de avaliação a oportunidade de manifestar o que não entenderam ou com que não concordaram em relação à interface" [Prates et al., 2000] *apud* [de Castro Salgado

and de Souza, 2007].

Já o MIS, que carrega em si uma triangulação, tem como objetivo identificar problemas de comunicabilidade em interfaces de sistemas computacionais e se caracteriza pela inspeção da interface em busca de elementos que possam gerar confusão ou ambiguidade para os usuários [Dias, 2005]. Esse método dispensa a interação com os usuários, tornando-o adequado para o desenho metodológico proposto nesta pesquisa. O MIS foi criado em 2006 e tem sido adaptado para diversas finalidades. O desenho metodológico do MIS consiste em uma preparação que inclui uma inspeção informal para definir o escopo e o foco da avaliação, criando um cenário de inspeção [Carvalho et al., 2018]. Além disso, o MIS preconiza a análise dos signos estáticos, a análise dos signos dinâmicos, a análise dos signos metalinguísticos, a comparação das metamensagens de cada uma das análises e uma avaliação global da comunicabilidade [Leitão, 2013]. O MIS-LT, por sua vez, é uma versão do MIS que visa comparar inspeções baseadas no MIS, realizadas com e sem o uso de leitores de tela. Esse método foi proposto em 2019 e busca explorar as relações entre os conceitos de comunicabilidade e acessibilidade [Carvalho et al., 2018].

Essa perspectiva é relevante para visualizações de ontologias porque o usuário não apenas interpreta nós e conexões, mas também interpreta a lógica do *designer* na construção da ferramenta, como é o caso do BioPortal. O MIS e o MIS-LT, empregados nesta pesquisa, permitem identificar barreiras de comunicabilidade especialmente relevantes para usuários de leitores de tela [Carvalho et al., 2018].

II.3.4 Usabilidade e sua relação com acessibilidade

O conceito de usabilidade surgiu na década de 1980 como uma expansão da ergonomia, incorporando aspectos psicológicos e sendo definido pela ISO 9241-11 como "um conjunto de atributos de *software* relacionados ao esforço necessário para seu uso e ao julgamento individual desse uso por um determinado conjunto de usuários" [Melo et al., 2016]. Jacob Nielsen, um dos principais teóricos desse campo, define a usabilidade como "um conceito que procura definir as propriedades de utilização, desempenho e satisfação dos usuários ao interagirem com as interfaces computacionais" [Nielsen, 1994], categorizando-a com os atributos de facilidade de aprendizado, eficiência de uso, facilidade de memorização, baixa taxa de erros e satisfação subjetiva [Melo et al., 2016].

Usabilidade e acessibilidade se relacionam, mas não se confundem: a usabilidade diz respeito à facilidade de uso e eficiência [Nielsen, 1994], enquanto a acessibilidade trata da possibilidade de uso para diferentes perfis de usuários. Em visualizações complexas, essas dimensões se tornam interdependentes: uma visualização acessível, mas com baixa usabilidade, ainda pode ser difícil de interpretar ou operar.

II.3.5 Sistemas de recomendação de visualização

Para avançar no entendimento de como sistemas podem apoiar usuários na interpretação de dados complexos, examinam-se os Sistemas de Recomendação de Visualizações (VRS, do inglês *Visual Recommendation Systems*). Conforme argumentado por Podo et al. [2024], a área enfrenta limitações metodológicas devido à falta de *datasets* padronizados e à natureza subjetiva dos critérios que determinam boas práticas visuais.

A Figura II.4, uma adaptação da autora, ajuda a compreender essa estrutura de tomada de decisão e sua relevância para pesquisas que buscam automatizar a avaliação de visualizações, como é o caso do presente estudo. Aqui, a lógica dos VRS é mobilizada não para sugerir visualizações, mas para compreender como atributos visuais podem ser sistematicamente avaliados e preditos.



Figura II.4: Adaptação do modelo de sistemas de recomendação de visualização proposto por Podo et al. [2024].

II.3.6 O *framework Chartability*

O *Chartability* [Elavsky et al., 2022] é um sistema de avaliação de acessibilidade específico para visualizações de dados, sintetizado a partir de múltiplas fontes: diretrizes WCAG, pesquisa acadêmica emergente em acessibilidade e visualização, guias de comunidades de prática, cursos universitários, artigos de praticantes e documentação de bibliotecas de código aberto. Seu propósito declarado é ajudar *designers*, desenvolvedores, pesquisadores e auditores a responder à pergunta *"quão acessível é a minha visualização de dados?"*, reunindo em um único arcabouço conhecimentos que, antes, encontravam-se dispersos em *corpora* desarticulados.

O *framework* organiza suas heurísticas em sete princípios, designados pelo acrônimo **POUR+CAF**. Os quatro primeiros — **Perceptível**, **Operável**, **Compreensível** e **Robusto** (POUR) — são herdados diretamente da WCAG e preservam a compatibilidade com padrões consolidados de acessibilidade *web*. Os três princípios adicionais — **Compromising**, **Assistive** e **Flexible** (CAF) — foram propostos por Elavsky et al. [2022] para atender às demandas específicas de visualizações de dados:

- **Compromising** (Comprometedor): foca em fluxos de informação alternativos, transparentes e tolerantes a erros, considerando que diferentes usuários de tecnologias assistivas precisam consumir a informação de formas distintas. Exige, por exemplo, que tabelas e sumários textuais acompanhem visualizações gráficas.

- **Assistive** (Assistivo): foca na redução da carga cognitiva e funcional do usuário. Visualizações devem adicionar valor em relação à inspeção bruta dos dados, tanto para usuários videntes quanto para usuários com deficiência.

- **Flexible** (Flexível): foca na agência do usuário e na capacidade de adaptar atributos perceptivos e operáveis da visualização. Respeita preferências definidas em níveis mais baixos do sistema (como modos de alto contraste ou reduções de movimento).

Em sua versão atual, o *Chartability* contém 50 heurísticas, das quais dez são consideradas críticas — ou seja, são priorizadas por um ou mais dos seguintes motivos: são caras de corrigir tardiamente, geram barreiras severas demais para serem ignoradas, estão entre as falhas mais comuns ou afetam múltiplas partes da experiência com os dados. Entre as heurísticas críticas estão verificações de contraste, tamanho mínimo de texto (não inferior a 12 px ou 9 pt), disponibilidade de descrições textuais e tabelas alternativas, e respeito às preferências de estilo definidas pelo usuário.

Um ponto particularmente relevante para esta dissertação é que Elavsky et al. [2022] reconhecem que a pesquisa em acessibilidade de visualizações tende a tratar cegueira e baixa visão como um mesmo grupo, quando, na prática, essas populações utilizam tecnologias e estratégias de interação

distintas. Para usuários com baixa visão, ampliar uma visualização densa não resolve a oclusão visual — apenas a reproduz em uma escala maior. Essa observação reforça a importância de critérios perceptivos objetivos aplicados desde a criação da visualização, ideia central à proposta do modelo PCHRD desta dissertação.

As Figuras II.5 e II.6 ilustram como variações em contraste, paleta ou tipografia podem alterar significativamente a percepção e compreensão de uma visualização, impactando diretamente sua acessibilidade.

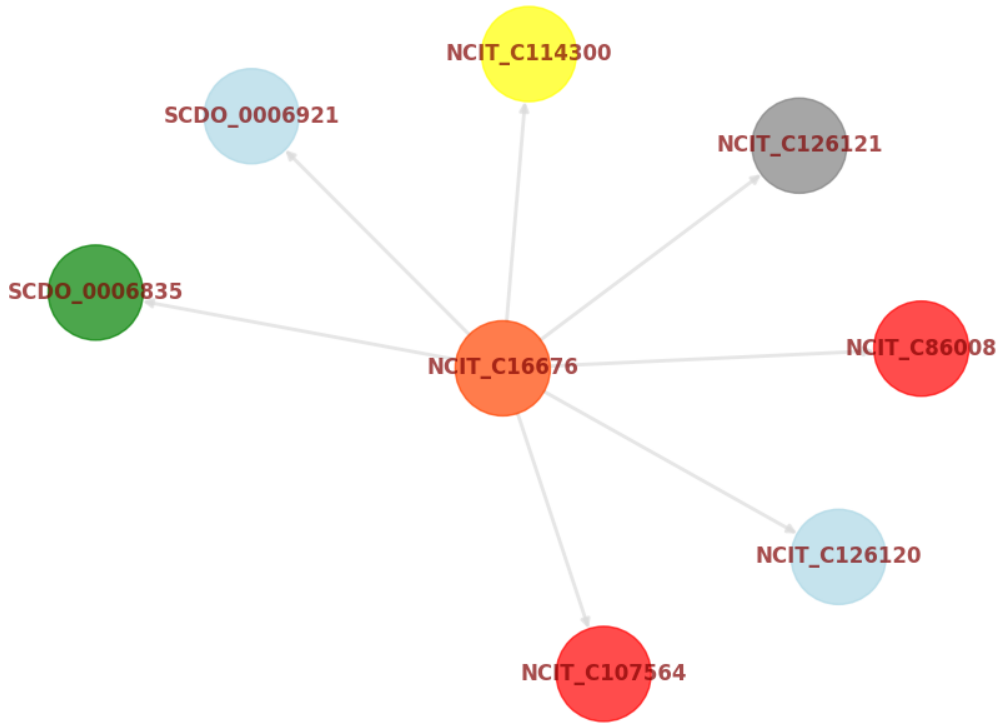


Figura II.5: Exemplo de boa acessibilidade com contraste adequado e legibilidade.

Fonte: Elaborado pela autora.

Na avaliação preliminar conduzida por Elavsky et al. [2022], profissionais com pouca experiência em acessibilidade relataram sentir-se mais confiantes após aplicar o *Chartability*, enquanto especialistas consideraram-no útil como *checklist* de consistência. Contudo, um achado notável do estudo foi a autocrítica de Ryan Shugart, especialista cego da Microsoft que participou da avaliação: ele observou que, como usuário de leitor de tela, auditar visualizações apresenta desafios únicos, pois *"nem sempre se sabe o que se está perdendo"*. Essa observação valida metodologicamente a busca, nesta dissertação, por critérios objetivos que possam ser aplicados sem depender exclusivamente de testes com usuários.

O modelo PCHRD proposto nesta dissertação é uma adaptação do *Chartability* para o contexto específico de visualizações de ontologias. Enquanto o *Chartability* endereça visualizações de dados de forma ampla — com ênfase em dashboards e gráficos estatísticos —, as ontologias apresen-

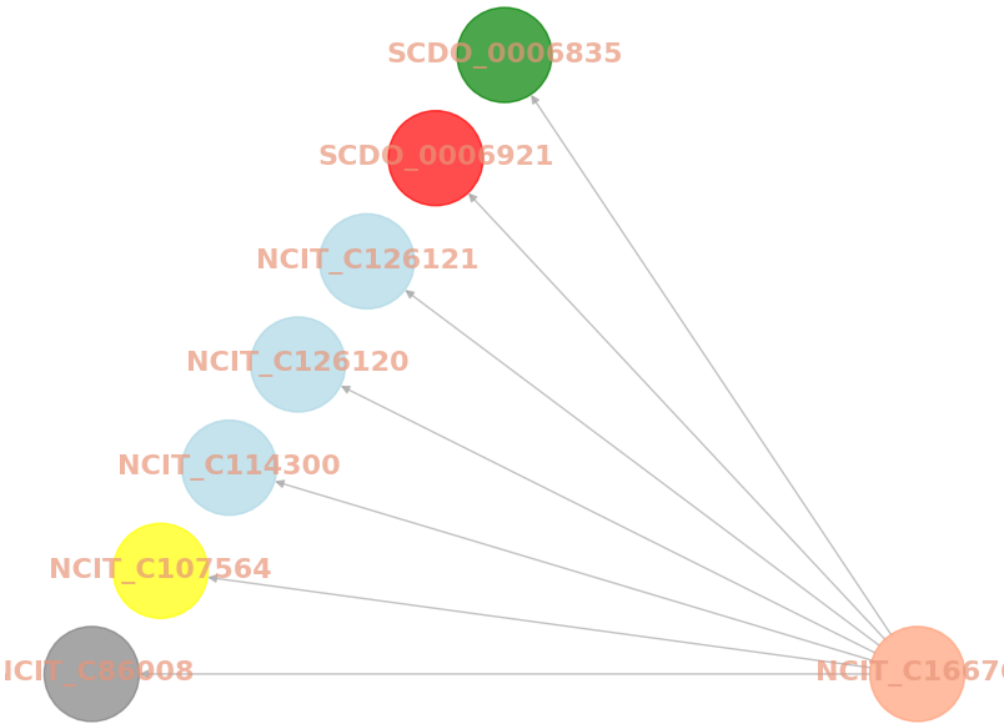


Figura II.6: Exemplo de baixa acessibilidade devido ao baixo contraste.

Fonte: Elaborado pela autora.

tam particularidades estruturais (hierarquias profundas, relações transversais, grafos densos) que exigem critérios específicos. O PCHRD mantém a lógica heurística e a inspiração em princípios POUR+CAF, mas operacionaliza cinco critérios voltados à leitura de grafos ontológicos estáticos: Perceptível, Compreensível, Hierarquicamente Claro, Rotulado e Distinguível.

II.4 Aprendizado de máquina e visão computacional para avaliação de visualizações

Concluída a fundamentação teórica sobre *InfoVis*, ontologias e acessibilidade, estabelece-se a transição para a etapa de aprendizado de máquina e visão computacional. A avaliação manual de acessibilidade é limitada e não escalável. Assim, técnicas de aprendizado supervisionado e, mais recentemente, modelos de linguagem multimodais com capacidade de visão, tornam-se alternativas metodológicas relevantes.

Nesta pesquisa, a avaliação de acessibilidade é modelada em dois regimes complementares. No primeiro, um problema de classificação supervisionada: treina-se um modelo capaz de mapear um conjunto de atributos de entrada (métricas de complexidade da ontologia e propriedades visuais do grafo) para uma classe alvo (rótulo de acessibilidade: “Acessível” ou “Não Acessível”). No segundo, um regime de inferência por modelos de visão computacional, em que imagens são processadas diretamente, sem engenharia manual de atributos, permitindo avaliar *corpora* heterogêneos e reais.

II.4.1 O algoritmo *Random Forest*

O algoritmo *Random Forest* [Breiman, 2001] foi escolhido por sua robustez e capacidade de capturar relações não lineares entre atributos visuais. Como método de *ensemble*, ele constrói múltiplas árvores de decisão e combina suas previsões, reduzindo variações e ampliando a generalização do modelo. A escolha por esse algoritmo é deliberadamente conservadora: o objetivo dos experimentos é testar se os critérios do *framework* PCHRD são capturáveis por atributos visuais, e não maximizar o desempenho preditivo do classificador em si.

Sua interpretabilidade por meio da análise de importância de atributos é particularmente útil neste trabalho: permite identificar quais propriedades visuais, como cor, contraste, densidade de arestas ou tamanho de nós, têm maior impacto na classificação de uma visualização como acessível ou não acessível. Essa formalização computacional estabelece o vínculo entre heurísticas humanas de leitura visual e a possibilidade de automatizar essa avaliação em ambientes controlados.

II.4.2 Modelos de visão computacional e *Chain-of-Thought*

Para *corpora* heterogêneos, como imagens reais extraídas de artigos científicos, a extração manual de atributos torna-se impraticável devido à diversidade de estilos visuais, resoluções, densidades e convenções gráficas. Nessas situações, modelos de linguagem multimodais com capacidade de visão — como *Claude Haiku* 4.5 e *GPT-4o-mini* — processam a imagem diretamente, sem depender de *features* pré-definidas, o que os torna especialmente adequados para avaliações em escala e em contextos abertos.

Complementarmente, a técnica de *Chain-of-Thought* (CoT), proposta por Wei et al. [2022], transforma o paradigma de classificação direta em um paradigma *pergunta-raciocínio-resposta*: antes de emitir a classificação final, o modelo é instruído a explicitar seu processo de inferência, descrevendo a definição operacional do critério aplicado, o que observou na imagem e a justificativa do escore atribuído. Essa explicitação do raciocínio permite inspecionar como o modelo operacionaliza cada critério de avaliação e comparar seu comportamento com o de um avaliador humano. No contexto desta pesquisa, o CoT é empregado como instrumento de auditoria do raciocínio dos modelos na aplicação dos critérios PCHRD, conforme detalhado no Capítulo IV.

Capítulo III Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresenta o panorama da literatura que fundamenta o percurso metodológico adotado nesta pesquisa. A revisão articula cinco eixos centrais: (i) acessibilidade, usabilidade e comunicabilidade; (ii) métodos de avaliação e controle de qualidade em visualização da informação, com ênfase em limites perceptivos de densidade em redes; (iii) visualização de ontologias (com ênfase em ontologias biomédicas); (iv) *frameworks* de avaliação de acessibilidade em visualizações de dados, com destaque para o *Chartability*; e (v) modelos de visão computacional e técnicas de raciocínio explícito aplicados à classificação de imagens científicas.

III.1 Metodologia da revisão

O levantamento bibliográfico foi conduzido de maneira iterativa, em ciclos sucessivos. As buscas foram realizadas majoritariamente na base Scopus. Em um primeiro ciclo, priorizou-se artigos revisados por pares na área de Computação, Interação Humano-Computador (IHC) e Visualização da Informação (*InfoVis*). Em um segundo ciclo, incluíram-se trabalhos sobre classificação de imagens científicas por modelos multimodais e sobre a técnica de *Chain-of-Thought*, pertinentes à extensão da pesquisa para corpora reais.

III.2 Acessibilidade, usabilidade e comunicabilidade

As bases conceituais de acessibilidade digital deste trabalho são orientadas pelas diretrizes do W3C [World Wide Web Consortium et al., 2013]. A literatura de IHC contribui com bases semióticas e comunicacionais relevantes. A Engenharia Semiótica, apresentada por Prates and Barbosa [2007], interpreta a visualização como um processo comunicacional em que o sistema transmite ao usuário intenções de *design* que precisam ser interpretadas.

III.3 Qualidade e avaliação em visualização da informação

As bases para avaliação de visualizações foram construídas por estudos clássicos como Card et al. [1999], que formalizam princípios perceptivos e cognitivos. A taxonomia de Chi [2000] estrutura a visualização como uma cadeia de transformações, evidenciando que decisões sobre filtragem e mapeamento visual têm impacto direto sobre a clareza da representação.

Estudos sobre visualizações hierárquicas, como Pang et al. [2019], demonstram que pequenas variações de *layout* afetam significativamente a interpretabilidade do usuário. A sistematização de métricas de qualidade visual Behrisch et al. [2018] marca um avanço importante, permitindo mensurar atributos como densidade e sobreposição.

Em Carpendale [2008], buscou-se um referencial empírico para mensurar visualizações de informações. No capítulo "Evaluating Information Visualizations", Carpendale propõe que a avaliação não deve restringir-se a métricas objetivas de desempenho, mas incluir a experiência subjetiva, a percepção e a compreensão. Essa abordagem, aqui complementada pela leitura do capítulo de Visualização da Informação contido em Telea [2014], apresenta uma visão abrangente sobre os princípios de percepção visual, codificação e legibilidade, destacando que o sucesso de uma visualização depende da harmonia entre forma, estrutura e propósito comunicativo.

Outros autores, como Behrisch et al. [2018], sistematizaram o conceito de métricas de qualidade visual, voltadas à análise de padrões para extrapolar dimensões quantitativas de aspectos como sobreposição, densidade e equilíbrio visual. Tais métricas buscam aproximar medidas computacionais da percepção humana, mas permanecem limitadas por sua incapacidade de considerar fatores contextuais e cognitivos.

Nesse mesmo sentido, Nobre et al. [2019] discutem o estado da arte na visualização de redes multivariadas, mostrando que a multiplicidade de atributos e relações em grafos complexos desafia a aplicação de métricas tradicionais de legibilidade e compreensão, contribuindo para a compreensão sobre as métricas já utilizadas para sistemas semelhantes às ontologias.

Em estudos mais recentes, Pang et al. [2019] compararam experimentalmente diferentes estruturas de visualização hierárquica como *treemaps* e representações em forma de mapa, demonstrando que pequenas variações de *layout* afetam significativamente a capacidade de interpretação do usuário, assim como demonstrado na triangulação metodológica realizada como experimento inicial para esta pesquisa. Também nesse sentido, Quadri et al. [2024] aprofundam essa discussão ao explorar, de forma qualitativa, como usuários interpretam visualizações complexas, revelando discrepâncias entre o que é exibido graficamente e o que é efetivamente compreendido.

Essas abordagens, embora distintas, convergem na compreensão de que a qualidade de uma visualização não pode ser reduzida a medidas puramente estruturais. A percepção visual, a clareza semântica e a adequação à tarefa são dimensões complementares e indissociáveis. Contudo, permanece uma lacuna metodológica: a falta de critérios que integrem sistematicamente aspectos perceptivos, cognitivos e de acessibilidade no processo de avaliação.

III.3.1 Limites perceptivos em visualização de redes

Um trabalho de referência para a compreensão dos limites perceptivos em visualizações de redes é o de Shneiderman and Aris [2006], que propõem o conceito de *semantic substrates* — regiões não sobrepostas na tela, definidas pelo usuário, nas quais os nós são posicionados segundo atributos semânticos, combinadas a controles interativos de visibilidade de arestas. A motivação central do trabalho é o reconhecimento de que visualizações de redes "impressionantes", com muitos nós e arestas cruzadas, frequentemente impossibilitam a execução de tarefas básicas, como contar nós, seguir conexões de origem a destino ou determinar o grau de cada nó.

Dois aportes desse trabalho são particularmente relevantes para a presente dissertação. O primeiro é empírico: a partir da análise de centenas de visualizações de redes, Shneiderman and Aris [2006] concluíram que as representações mais eficazes apresentam entre 10 e 50 nós e entre 20 e 100 arestas. Esse intervalo dialoga diretamente com os resultados obtidos nos experimentos desta dissertação, em que visualizações rasterizadas de ontologias tornam-se inteligíveis apenas quando contêm cerca de 30 nós (Capítulo V). A convergência entre os achados empíricos desta pesquisa e a literatura consolidada de *InfoVis* fortalece a validade do critério Perceptível (P) do modelo PCHRD.

O segundo aporte é metodológico: a taxonomia de tarefas canônicas em visualização de redes (T1 a T14) proposta pelos autores fornece um referencial para operacionalizar critérios perceptivos. Tarefas como contar nós e arestas (T1), determinar o grau de um nó (T2), identificar vizinhos a distâncias 1, 2 ou 3 (T3), encontrar *clusters* compactos (T7), ler rótulos (T9) e identificar ligações entre nós com atributos distintos (T11) correspondem, cada uma, a condições perceptivas que o modelo PCHRD busca garantir.

Cabe destacar, entretanto, que a proposta de Shneiderman and Aris [2006] pressupõe um cenário interativo: os *semantic substrates* e os controles de visibilidade de arestas dependem da manipulação ativa da visualização pelo usuário. As visualizações ontológicas incorporadas a artigos científicos — objeto de parte do *corpus* desta dissertação — são estáticas e rasterizadas, não permitindo tal interação. Essa restrição torna ainda mais necessária a adoção de critérios objetivos e avaliáveis na concepção da visualização, o que se alinha à proposta do modelo PCHRD.

III.4 Visualização de ontologias (ênfase em ontologias biomédicas)

A visualização de ontologias ocupa um lugar singular na área de *InfoVis*, por unir aspectos cognitivos e semânticos da representação do conhecimento. O *survey* de Katifori et al. [2007] apresenta uma revisão abrangente sobre métodos de visualização de ontologias e os classifica de acordo com sua capacidade de representar hierarquias, relacionamentos e propriedades conceituais.

Na busca de modelos mais aproximados do objeto de estudo, foram incorporados conceitos do

trabalho de Gillis-Webber and Keet [2022], que aborda o desafio da multilinguagem em ontologias biomédicas, destacando a necessidade de ferramentas de visualização que mantenham consistência semântica em diferentes idiomas e, portanto, demonstra mais uma peculiaridade desses sistemas, que são computacionais, mas também envolvem desafios linguísticos. O trabalho de Keet [2020] apresenta o exemplo da construção da ontologia *The African Wildlife* para o ensino de engenharia ontológica, reforçando a importância de modelos visuais como instrumentos de aprendizado. O exemplo é bastante rico; contudo, nenhum dos estudos sobre ontologias biomédicas se debruça especificamente sobre o critério acessibilidade. Esses trabalhos evidenciam, portanto, que a visualização de ontologias biomédicas é um campo interdisciplinar, situado entre a computação, a ciência da informação, o *design* e a biomedicina (no caso desse domínio em específico). Ainda assim, as discussões sobre acessibilidade permanecem incipientes, e poucos estudos consideram explicitamente as limitações perceptivas e cognitivas dos usuários ao interagir com essas visualizações.

O desenvolvimento do *MEMO Graph* [Ghorbel et al., 2016] demonstra a viabilidade de criar interfaces baseadas em grafos para melhorar a usabilidade, mas não incorpora métricas perceptivas específicas. A SCDO [Adekile et al., 2019] destaca-se como ontologia biomédica de alta complexidade estrutural e é adotada como principal estudo de caso nesta pesquisa.

III.5 *Frameworks* de avaliação de acessibilidade em visualizações de dados

Entre os esforços mais recentes para sistematizar a avaliação de acessibilidade em visualizações de dados, o *Chartability* [Elavsky et al., 2022] ocupa posição central e é a principal base conceitual para o modelo PCHRD proposto nesta dissertação. Trata-se de um sistema heurístico desenvolvido no Instituto de Interação Humano-Computador da Carnegie Mellon University, sintetizado a partir de diretrizes WCAG, pesquisa acadêmica, guias de comunidades de prática, documentação de bibliotecas de código aberto, cursos universitários e artigos de praticantes.

O *Chartability* organiza suas 50 heurísticas em sete princípios, agrupados sob o acrônimo **POUR+CAF**: aos quatro princípios herdados da WCAG — Perceptível, Operável, Compreensível e Robusto —, os autores acrescentam três novos princípios voltados às particularidades de visualizações de dados: **Compromising** (fluxos de informação alternativos e tolerantes a falhas), **Assistive** (redução da carga cognitiva e funcional do usuário) e **Flexible** (respeito à agência e às preferências do usuário). Dez dessas heurísticas são classificadas como críticas, por serem caras de corrigir tardiamente, por gerarem barreiras severas, por estarem entre as falhas mais comuns ou por afetarem múltiplas partes da experiência.

A avaliação preliminar conduzida por Elavsky et al. [2022] com profissionais novatos e especialistas revelou que o *framework* reduz significativamente a percepção de dificuldade do trabalho de auditoria entre novatos e serve como *checklist* de consistência para especialistas. Um achado

relevante foi a observação de Ryan Shugart, especialista cego da Microsoft, que reconheceu que usuários de leitor de tela enfrentam desafios únicos ao auditar visualizações, pois "nem sempre se sabe o que se está perdendo". Essa consideração valida metodologicamente a opção desta pesquisa por critérios objetivos aplicáveis sem a necessidade de testes com usuários.

Apesar de sua abrangência, o *Chartability* foi concebido para visualizações de dados em geral — *dashboards*, gráficos estatísticos, *infographics* — e não endereça especificamente visualizações de ontologias, que apresentam particularidades estruturais (hierarquias profundas, relações transversais, grafos densos, rótulos com identificadores técnicos) que demandam critérios adaptados. O modelo PCHRD proposto nesta dissertação preserva a lógica heurística do *Chartability* e sua inspiração em princípios POUR+CAF, mas concentra-se em cinco critérios operacionais para a leitura de grafos ontológicos estáticos: Perceptível, Compreensível, Hierarquicamente Claro, Rotulado e Distinguível.

III.6 Abordagens automáticas para avaliação

Os avanços envolvendo aprendizado de máquina aplicado à visualização vêm de pesquisas como Podo et al. [2024], que discutem sistemas de recomendação visual agnósticos. Arrieta et al. [2020] fundamentam a noção de transparência necessária para modelos de IA, essencial para interpretar decisões de classificadores em visualização — aspecto particularmente relevante ao aproximar resultados automáticos de avaliações humanas.

III.7 Modelos de visão computacional e raciocínio explícito aplicados a imagens científicas

A extensão desta pesquisa a corpora reais de imagens científicas fundamenta-se em uma linha de trabalhos que explora a aplicação de modelos de visão computacional à classificação e análise de figuras em artigos acadêmicos. Deng et al. [2009], em seu trabalho sobre o *ImageNet*, argumenta que uma ontologia de imagens em grande escala constitui um recurso crítico para o desenvolvimento de algoritmos avançados de busca e compreensão visual, além de fornecer dados essenciais de treinamento e avaliação. Transposta para o contexto desta dissertação, essa lógica sustenta a pertinência de se construir um conjunto representativo de imagens de ontologias biomédicas oriundas de publicações científicas para subsidiar a avaliação sistemática de sua acessibilidade.

Mais recentemente, Wei et al. [2022] introduziram a técnica de *Chain-of-Thought* (CoT), demonstrando que a explicitação do raciocínio intermediário em modelos de linguagem de grande escala melhora o desempenho em tarefas complexas. Esses trabalhos oferecem a base metodológica para o uso do CoT como instrumento de auditoria do raciocínio de modelos multimodais na operacionalização de critérios avaliativos — aplicação adotada nesta pesquisa para inspecionar como modelos de visão interpretam cada critério do *framework* PCHRD.

A verificação de modelos distintos, como a utilizada nesta dissertação com *Claude Haiku* 4.5 e *GPT-4o-mini*, alinha-se a práticas recomendadas em estudos comparativos de modelos de aprendizagem profunda para classificação de imagens, que apontam a comparação entre arquiteturas como estratégia para avaliar a robustez e a consistência das classificações.

III.8 Síntese dos trabalhos relacionados e lacunas identificadas

A Tabela III.1 apresenta uma síntese categorizada dos principais trabalhos.

Tabela III.1: Síntese categorizada dos trabalhos revisados

Categoria	**Referência**	**Contribuição Principal e Relação com a Pesquisa**
Acessibilidade	Plaisant [2005], Everis Brasil [2022], Elavsky et al. [2022]	Estabelecem a necessidade de usabilidade universal e apontam barreiras em interfaces digitais.
Ergonomia e Semiótica	Betiol and Faust [2010], Prates and Barbosa [2007]	Inserem o contexto de *hardware* e a comunicação mediada como fatores críticos para a compreensão.
Qualidade Visual e Redes	Card et al. [1999], Behrisch et al. [2018], Shneiderman and Aris [2006]	Fornecem os fundamentos perceptivos, métricas de densidade e limites empíricos de legibilidade em redes (10–50 nós).
Ontologias	Katifori et al. [2007], Netto et al. [2016]	Mapeiam técnicas de visualização e destacam a complexidade do domínio biomédico.
Frameworks de Acessibilidade em Visualização	Elavsky et al. [2022]	Base heurística direta para a construção do modelo PCHRD.
Aprendizado de Máquina e Recomendação Visual	Podo et al. [2024], Arrieta et al. [2020]	Inspiram a abordagem de recomendação automática e destacam a necessidade de explicabilidade.
Visão Computacional e CoT	Deng et al. [2009], Wei et al. [2022]	Fundamentam a construção de corpora reais, o uso de modelos de visão e o CoT como auditoria de raciocínio.

A análise da literatura evidenciou cinco lacunas centrais que fundamentam o desenvolvimento do modelo PCHRD e de sua extensão a corpora reais: (i) ausência de *frameworks* integrados de percepção e computação sem a participação de usuários; (ii) falta de especificidade para ontologias biomédicas em *frameworks* existentes como o *Chartability*; (iii) inexistência de *datasets* rotulados para avaliação de acessibilidade em visualizações ontológicas; (iv) escassez de estudos que auditem, de forma estruturada, o raciocínio de modelos de visão computacional aplicados à avaliação de acessibilidade em visualizações científicas; e (v) ausência de articulação entre os limites perceptivos clássicos da literatura de *InfoVis* [Shneiderman and Aris, 2006] e os critérios contemporâneos de acessibilidade [Elavsky et al., 2022] no contexto específico de ontologias.

Capítulo IV Metodologia

A presente pesquisa é de natureza aplicada e adota um delineamento experimental, integrando abordagens quantitativas e qualitativas para o desenvolvimento de um método de avaliação da acessibilidade em visualizações de ontologias biomédicas. A construção metodológica partiu do reconhecimento de que avaliar a acessibilidade de ontologias é um desafio particular, uma vez que envolve múltiplos parâmetros a serem analisados e um público bastante heterogêneo em termos de perfis perceptivos, cognitivos e tecnológicos. Por essa razão, optou-se por delimitar o escopo à análise de aspectos de acessibilidade de visualizações de ontologias, por meio de experimentos com elementos visuais clássicos desse tipo de artefato.

O percurso metodológico foi organizado em seis fases progressivas, conforme ilustrado na Figura IV.1:

1. Seleção do objeto de estudo e definição do escopo.
2. Triangulação metodológica preliminar (diagnóstico qualitativo).
3. Redefinição do foco e formalização do *framework* PCHRD a partir do *Chartability*.
4. Desenvolvimento dos artefatos computacionais (geração de *datasets* sintéticos, rotulagem operacionalizada por perguntas objetivas e modelagem supervisionada).
5. Construção de *corpora* com imagens extraídas de artigos científicos e classificação por modelos de visão computacional.
6. Análise do raciocínio do modelo via *Chain-of-Thought* e comparação com julgamentos humanos.

IV.1 Fase 1: Seleção do objeto e escopo

A primeira etapa consistiu na seleção de ontologias biomédicas do repositório BioPortal. A ontologia utilizada foi a *Sickle Cell Disease Ontology* (SCDO) [Adekile et al., 2019], escolhida por sua estrutura hierárquica extensa e densidade relacional, que oferece condições favoráveis para examinar tanto padrões de visualização quanto limitações estruturais das ferramentas atuais.

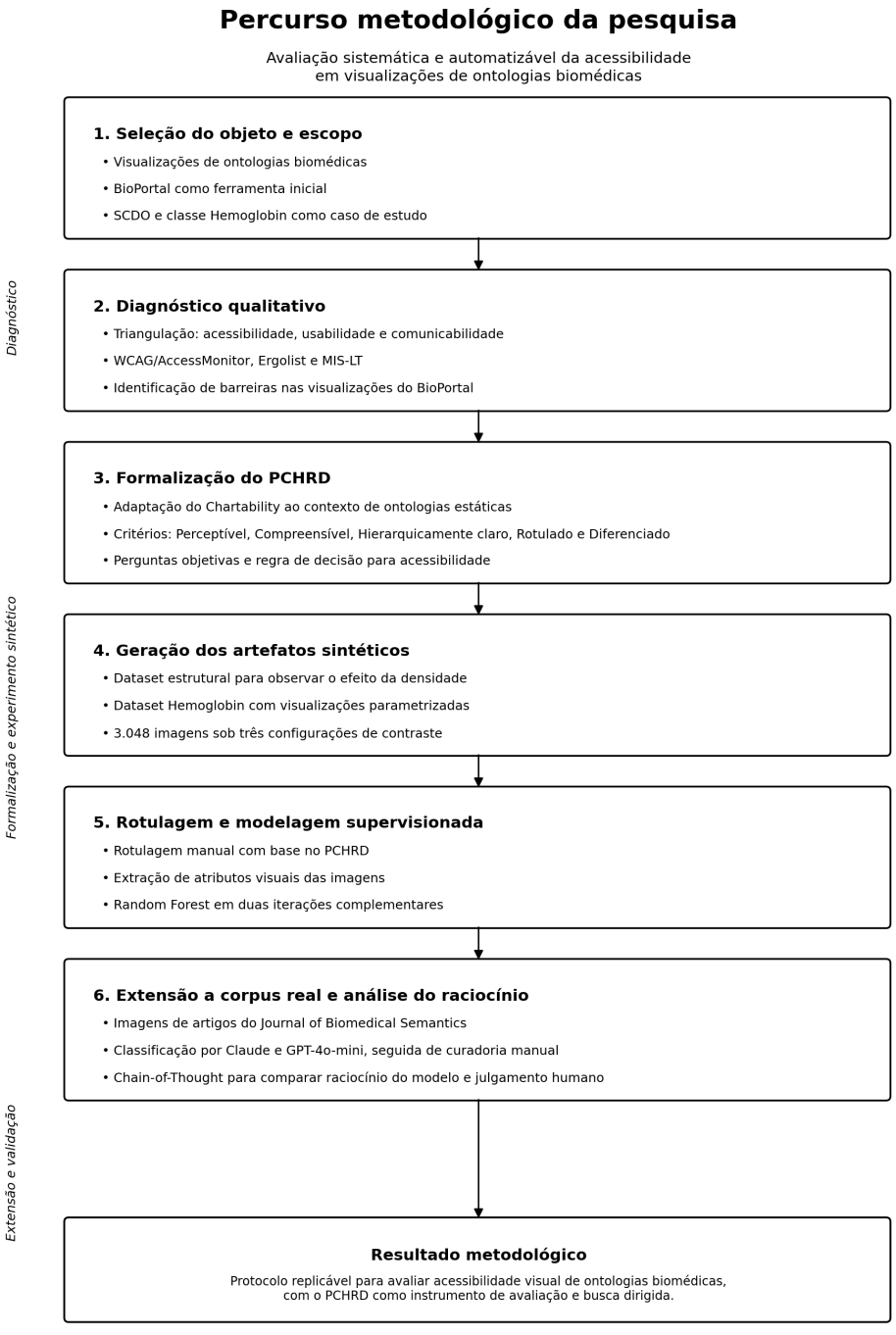


Figura IV.1: Percurso metodológico da pesquisa, detalhando as etapas de definição, diagnóstico, redefinição de foco, desenvolvimento técnico e extensão do método a *corpora* reais.

IV.2 Fase 2: Triangulação metodológica preliminar

Nesta fase, buscou-se na literatura um conjunto de *frameworks* para análise de visualizações de ontologias. Optou-se por uma triangulação metodológica fundamentada em princípios de IHC [Prates and Barbosa, 2007], articulando três dimensões complementares: acessibilidade, usabilidade e comunicabilidade. O objetivo foi diagnosticar como as ferramentas atuais lidam com a complexidade visual das ontologias e, sobretudo, identificar se as abordagens tradicionais de IHC capturam adequadamente as particularidades desse tipo de artefato.

A triangulação foi composta por:

- mensuração de **acessibilidade** por meio de inspeção com leitor de tela NVDA, aplicação das Diretrizes WCAG 2.1 e uso de ferramenta automática (*AccessMonitor*);
- avaliação de **usabilidade** pelo *checklist* de critérios ergonômicos de Bastien e Scapin (*Ergo-list*);
- análise de **comunicabilidade** pelo Método de Inspeção Semiótica em sua variante para leitor de tela (MIS-LT).

IV.2.1 Diagnóstico visual

A inspeção revelou que as abordagens tradicionais falham em comunicar a complexidade da SCDO. A Figura IV.2 ilustra a visualização em lista indentada, que omite a topologia global da rede.

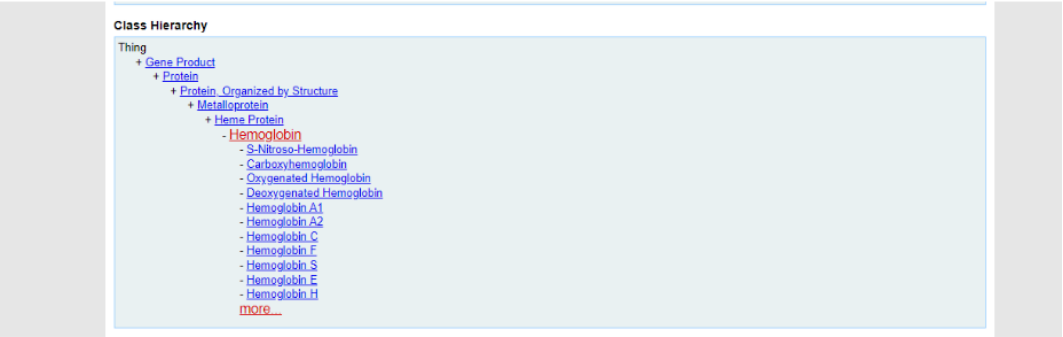


Figura IV.2: Diagnóstico da visualização em lista indentada no BioPortal. O formato esconde relações transversais críticas para o entendimento da ontologia. Fonte: BioPortal.

Por outro lado, tentativas de visualização gráfica (*layouts* radiais) resultam em sobrecarga perceptiva, como visto na Figura IV.3, onde a densidade de conexões gera ilegibilidade.

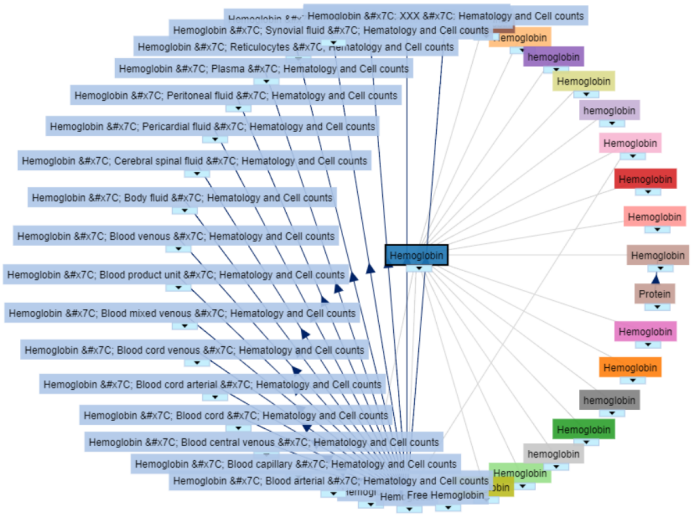


Figura IV.3: Diagnóstico da visualização radial. A densidade de arestas e a sobreposição de rótulos comprometem a acessibilidade. Fonte: BioPortal.

IV.2.2 Evidência quantitativa da falha dos métodos atuais

Para quantificar esses problemas, aplicou-se o *checklist Ergolist* com e sem o uso de leitor de tela. Foram analisados os dezoito critérios clássicos: Presteza, Agrupamento por localização, Agrupamento por formato, *Feedback*, Legibilidade, Concisão, Ações mínimas, Densidade informacional, Ações explícitas, Controle do usuário, Flexibilidade, Experiência do usuário, Proteção contra erros, Mensagem de erros, Correção de erros, Consistência, Significados e Compatibilidade. Os resultados desta aplicação, apresentados no Capítulo V, evidenciaram que grande parte dos critérios tradicionais não se aplica diretamente à avaliação de visualizações abstratas, motivando o recorte metodológico da fase seguinte.

IV.3 Fase 3: Redefinição do foco e formalização do *framework* PCHRD

A partir do diagnóstico exploratório da Fase 2, optou-se por recortar a pesquisa à dimensão da acessibilidade e investigar *frameworks* específicos para esse critério aplicados a visualizações. Nas revisões de literatura, foi selecionado o *framework Chartability* [Elavsky et al., 2022], que se destaca por reunir heurísticas testáveis desenvolvidas especificamente para avaliar a acessibilidade de visualizações de dados, sistemas e interfaces. O *Chartability* foi criado justamente para suprir a ausência de diretrizes específicas para visualizações nas normas gerais de acessibilidade, como as WCAG.

IV.3.1 Critérios originais do *Chartability*

O *Chartability* organiza suas heurísticas em torno de eixos como: Perceptibilidade (contraste de cor, tamanho dos elementos, rótulos visíveis); Compreensibilidade (clareza das variáveis, hierarquia visual, uso de padrões e símbolos, alternativas textuais); Interatividade (navegabilidade, acessibilidade de ferramentas interativas); Robusto (compatibilidade com leitores de tela, reatividade); Categorização de Erros (críticos, moderados, menores); além de um *checklist* para desenvolvedores e diretrizes de documentação de acessibilidade.

IV.3.2 Adaptação ao contexto de visualizações estáticas de ontologias

Os critérios do *Chartability* são abrangentes e pertinentes para aplicações colaborativas e dinâmicas. Contudo, para o contexto desta pesquisa, voltada a visualizações *estáticas* de ontologias, as dimensões de Interatividade e Categorização de Erros não se aplicam diretamente. Optou-se, portanto, por manter apenas os critérios Perceptível, Compreensível e Robusto do *framework* original.

Adicionalmente, identificou-se que as particularidades das visualizações de ontologias — caracterizadas por múltiplas camadas hierárquicas, grande densidade de rótulos e necessidade de diferenciar tipos distintos de nós e arestas — não eram plenamente contempladas pelas heurísticas originais. Por essa razão, foram incorporados três critérios adicionais e inéditos, derivados da literatura de visualização da informação: Hierarquicamente Claro, Rotulado Efetivamente e Distinguível.

A combinação desses critérios constitui o *framework* PCHRD, assim denominado pelas iniciais dos critérios operacionais Perceptível, Compreensível, Hierarquicamente claro, Rotulado efetivamente, Robusto e Distinguível. Ressalta-se que, embora o critério Robusto tenha sido mantido no modelo experimental, ele não pôde ser efetivamente avaliado, permanecendo zerado em todos os experimentos, uma vez que nenhuma das imagens analisadas era compatível com leitores de tela.

IV.3.3 Definição dos critérios PCHRD

Perceptível: Assegura que as informações visuais estejam acessíveis a todos os usuários, incluindo aqueles com limitações visuais, como as pessoas com baixa visão funcional. Verificam-se o contraste de cores, o tamanho do texto e a independência em relação à codificação exclusivamente cromática. Estudos como os de Chaparro and Chaparro [2017] destacam a importância de considerar limitações visuais na criação de visualizações, utilizando contrastes adequados e representações redundantes de dados visuais.

Compreensível: Avalia a clareza e a facilidade de interpretação do conteúdo apresentado. Verifica-se se a visualização possui instruções claras e se o *layout* facilita a leitura dos dados sem sobrecarregar o usuário cognitivamente. Como apontado por Carpendale [2008], visualizações mal estruturadas

podem resultar em sobrecarga cognitiva, especialmente em dados abstratos e complexos, como ontologias.

Robusto: Garante que a visualização seja acessível em uma ampla gama de dispositivos e tecnologias assistivas, como leitores de tela e modos de alto contraste. Conforme Elavsky et al. [2022], a capacidade de adaptação das visualizações a diferentes configurações de usuário é essencial para uma experiência consistente entre perfis variados.

Hierarquicamente claro: Critério incorporado em função da especificidade do contexto ontológico. Avalia se a visualização apresenta de maneira explícita e acessível as relações hierárquicas entre classes e subclasses, utilizando camadas, tamanhos ou posicionamento adequado para comunicar a estrutura da ontologia [Katifori et al., 2007]. A representação clara de hierarquias é fundamental para a compreensão do domínio por parte dos usuários.

Rotulado efetivamente: Avalia se os rótulos são legíveis, possuem contraste adequado e estão claramente associados aos elementos correspondentes. Segundo Plaisant [2005], a ausência de rótulos claros pode comprometer significativamente a eficácia da visualização, sobretudo para usuários com limitações visuais ou cognitivas.

Distinguível: Verifica se há distinções visuais claras entre diferentes tipos de nós e suas associações, por meio de cores, formas ou estilos de linha. Ware [2012] sugere que o uso de codificações visuais redundantes minimiza a sobrecarga cognitiva e facilita a compreensão das relações entre os nós e suas conexões, além de proporcionar que esses elementos sejam identificáveis mesmo em contextos de alta densidade informacional.

IV.3.4 Operacionalização da rotulagem por perguntas objetivas

Durante o processo de rotulagem, observou-se uma dificuldade prática relevante: ater-se aos critérios conceituais sem deslizar para avaliações excessivamente subjetivas. Para mitigar essa dificuldade, foram formuladas perguntas objetivas associadas a cada critério, operando como *proxies* de inspeção visual. Essas perguntas serviram tanto para padronizar o julgamento da avaliadora quanto para reduzir a variabilidade entre imagens avaliadas em momentos distintos. A Tabela IV.1 sintetiza essas perguntas.

IV.3.5 Regra de decisão para acessibilidade

Cada critério do PCHRD foi categorizado com valores binários (0 para "não conforme" e 1 para "conforme"). A partir desses escores individuais, definiu-se uma regra de decisão global: visualizações que atendessem a pelo menos 75% dos critérios aplicáveis foram classificadas como Acessíveis (rótulo 1); as demais como Não Acessíveis (rótulo 0). O limiar de 75% foi adotado como compromisso entre rigor metodológico e viabilidade empírica, permitindo tolerância para casos em que um único critério

Tabela IV.1: Perguntas objetivas utilizadas na operacionalização dos critérios do PCHRD durante a rotulagem.

Critério	**Perguntas de inspeção**
Perceptível	O contraste de cores e o tamanho do texto garantem boa legibilidade? As informações visuais podem ser compreendidas sem depender apenas de cores?
Compreensível	O *layout* facilita a compreensão dos dados? As instruções da visualização são claras?
Hierarquicamente Claro	As relações hierárquicas são facilmente identificáveis? O uso de camadas ou posicionamento ajuda a entender a hierarquia?
Rotulado Efetivamente	Os rótulos são legíveis e associados corretamente aos elementos? Os rótulos fornecem informações claras e suficientes?
Robusto	A visualização funciona bem em diferentes dispositivos e com leitores de tela? A visualização se adapta a modos de alto contraste?
Distinguível	Os nós e conexões são distinguíveis claramente por cores, formas ou estilos? Há codificação visual suficiente para distinguir elementos mesmo em alta densidade informacional?

Fonte: Elaboração própria.

comprometido não inviabilizaria a visualização como um todo.

A Tabela IV.2 apresenta uma amostra representativa do *dataset* rotulado, com os atributos visuais extraídos e os escores atribuídos a cada critério do modelo PCHRD.

Tabela IV.2: Amostra do *dataset* rotulado com critérios PCHRD.

Combinação	**Layout**	**Cor_nós**	**Tamanho**	**P**	**C**	**H**	**R**	**D**	**Acessível**
combinacao_39	random_layout	maroon	1000	0	0	0	1	0	0
combinacao_1	spring_layout	darkgray	3000	0	0	0	1	1	0
combinacao_15.2	spectral_layout	coral	1000	0	0	0	1	0	0
combinacao_92	spring_layout	lightsalmon	3000	0	0	1	1	1	0
combinacao_9_2	planar_layout	gray	1000	0	0	0	1	0	0
combinacao_77.3_rotulo_cortado	kamada_layout	brown	3000	0	0	0	1	1	0
combinacao_4	spiral_layout	mistyrose	1000	0	0	0	1	0	0
combinacao_55	spiral_layout	lightcoral	3000	0	0	1	1	0	0
combinacao_23	spectral_layout	indianred	1000	0	0	0	1	1	0
combinacao_67	spectral_layout	gray	2000	0	0	0	1	0	0

P = Perceptível; C = Compreensível; H = Hierarquicamente claro; R = Rotulado; D = Distinguível

Fonte: Elaboração própria.

IV.4 Fase 4: Desenvolvimento dos artefatos computacionais

Para validar o modelo PCHRD em escala, desenvolveu-se um *pipeline* computacional em *Python* para gerar *datasets* sintéticos controlados. A escolha por imagens sintéticas decorre da necessidade de manipular sistematicamente parâmetros visuais sem as restrições impostas pelas visualizações nativas do BioPortal. A primeira etapa simplifica a realidade para testar principalmente a efetivi-

dade das perguntas norteadoras.

IV.4.1 Dataset estrutural: redução progressiva de complexidade

O primeiro experimento teve por objetivo investigar o limite estrutural de legibilidade das visualizações geradas com as bibliotecas *NetworkX*, *RDFLib* e *Matplotlib*[1]. Implementou-se um algoritmo que, partindo da SCDO completa (2.072 classes), remove iterativamente um nó por vez e rerenderiza a visualização, diminuindo progressivamente a quantidade de nós e arestas em $n-1$. Esse processo gerou 2.071 imagens, permitindo observar em que ponto os subgrafos passam a ser visualmente inteligíveis.

IV.4.2 Dataset *Hemoglobin*: parametrização visual em três sub-etapas

O segundo experimento concentrou-se em uma rede centrada na classe *Hemoglobin* e seus nós diretamente relacionados. A escolha permitiu avaliar, em escala menor e mais controlável, variações de cores, *layout*, tamanho dos nós, *design* das arestas, tamanhos de fonte e pesos tipográficos.

A geração foi dividida em três sub-etapas complementares:

1. Datasete COLOR (.1):visualizações com **cores e outros parâmetros randomizados** sem restrição de fundo;
2. Dataset BLACK(.2): visualizações com **fundo branco** e parâmetros randomizados;
3. Dataset WHITE(.3):visualizações com **fundo preto** e parâmetros randomizados.

A Figura IV.4 apresenta um exemplo representativo de cada sub-etapa.

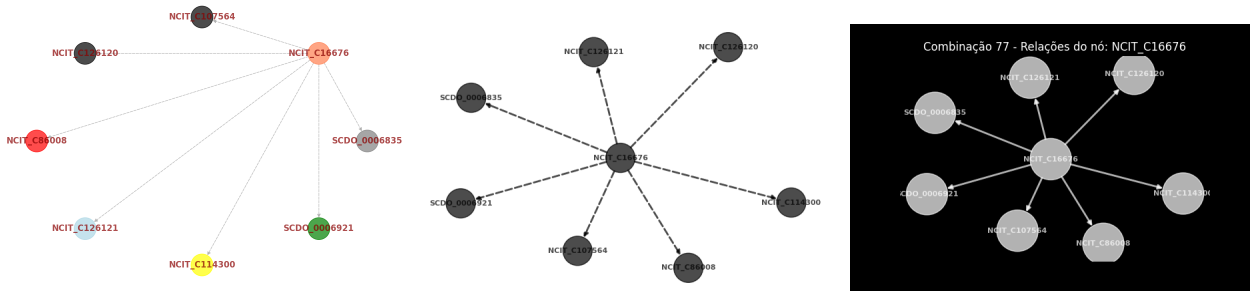


Figura IV.4: Exemplos de visualizações geradas nas três sub-etapas do *dataset*. Fonte: Elaboração própria.

Essa estratificação foi desenhada para permitir inspeções específicas sobre o efeito do fundo no contraste percebido. Ao final, o experimento produziu 3.048 imagens distintas, das quais 197 foram

[1] *NetworkX* é uma biblioteca *Python* para criação, manipulação e análise de grafos e redes complexas; *RDFLib* é voltada à leitura e manipulação de dados em RDF/OWL; e *Matplotlib* é uma biblioteca de geração de gráficos e imagens.

selecionadas aleatoriamente (via biblioteca *random*) para rotulagem segundo o PCHRD. O número de imagens se baseou na viabilidade da rotulagem manual ao longo do processo.

IV.4.3 Rotulagem e condições experimentais controladas

O processo de rotulagem foi conduzido por uma única observadora, autora deste trabalho. Para garantir consistência interna, foi elaborado previamente um guia de referência com as definições operacionais de cada critério PCHRD e as perguntas objetivas descritas na Seção IV.3.4.

As condições ambientais e de *hardware* foram estritamente controladas e mantidas constantes ao longo de todas as sessões de rotulagem, conforme sintetizado no Tabela IV.3.

Tabela IV.3: Condições controladas de rotulagem das visualizações sintéticas.

Elemento	**Configuração**
Monitor	AOC 21,5 polegadas
Clear Vision	Desativado
Contraste	50%
Brilho	90%
Eco mode	Padrão
Gamma	*Gamma 1*
DCR	Desativado
HDR	Desativado
Sistema operacional	*Windows 10 Pro*, versão 22H2
Software de visualização	Aplicativo *Fotos* do *Windows*, escala 100% (sem ampliação)
Iluminação ambiente	Luzes apagadas, a fim de evitar interferência de reflexos

IV.4.4 Reconhecimento do viés de comparação (“efeito exame de vista”)

Durante a rotulagem, identificou-se um fenômeno de adaptação perceptiva denominado, nesta pesquisa, “efeito exame de vista”: em um *dataset* majoritariamente composto por visualizações inadequadas, há tendência a classificar como aceitáveis as “menos piores”, em uma espécie de calibração implícita entre imagens avaliadas em sequência. Esse fenômeno configura um viés de comparação que afeta a estabilidade das rotulagens.

Neste trabalho, esse ônus foi admitido como custo metodológico intrínseco a experimentos sem participação de usuários adicionais. Contudo, foram delineadas estratégias de mitigação para trabalhos futuros que envolvam múltiplos avaliadores:

- apresentar imagens em momentos distintos (por exemplo, uma imagem por dia por avaliador);
- aplicar perguntas objetivas — como as formuladas na Seção IV.3.4 — para cada critério, reduzindo espaço para inferências subjetivas;
- submeter cada imagem a pelo menos três avaliadores independentes, permitindo análise de concordância.

Adicionalmente, reconhece-se que o *dataset* gerado pode conter imagens visualmente redundantes entre si, dada a grande quantidade de combinações paramétricas produzidas; esse é um ponto a ser tratado em futuras curadorias do conjunto.

IV.4.5 Atributos extraídos e modelo supervisionado

Paralelamente à rotulagem humana, atributos visuais e estruturais foram extraídos automaticamente durante a geração das imagens, incluindo: propriedades dos nós (cor, tamanho, transparência, peso visual); propriedades das arestas (cor, largura, estilo, opacidade); características tipográficas (tamanho, cor, peso, indícios de sobreposição); parâmetros de *layout* (algoritmo, distribuição espacial, orientação, densidade visual); e métricas estruturais do grafo (grau médio, número de nós e arestas, densidade, componentes conectados), obtidas via *NetworkX*.

A integração entre rótulos humanos e atributos automáticos compôs a base sobre a qual se realizou a modelagem supervisionada. O algoritmo *Random Forest* foi adotado pelas razões discutidas no Capítulo II: robustez frente a conjuntos de dados de pequeno e médio porte, capacidade de capturar relações não lineares entre atributos visuais e interpretabilidade direta via análise de importância de atributos. A avaliação foi conduzida por validação cruzada *k-fold* (k=5)[2].

O experimento foi planejado em duas iterações com finalidades distintas e complementares. A Iteração 1 operou como sondagem da prevalência de acessibilidade no espaço paramétrico aleatório: o modelo foi treinado e avaliado sobre amostras extraídas das 197 imagens rotuladas pelos cinco critérios PCHRD, sem qualquer curadoria amostral. O propósito não era atingir desempenho preditivo ótimo, mas verificar, via comportamento computacional, o que a rotulagem manual já sugeria — a baixa prevalência de visualizações acessíveis em geração paramétrica não dirigida (isto é, com os parâmetros gráficos sorteados aleatoriamente, sem qualquer orientação por critérios de acessibilidade).

A Iteração 2 operou como prova de conceito de que atributos visuais carregam sinal discriminativo quando ambas as classes estão adequadamente representadas. Para tanto, foi realizada uma busca dirigida pelo PCHRD sobre o universo completo de 3.048 imagens, identificando 47 visualizações que satisfaziam o conjunto de critérios. A partir dessa curadoria, compôs-se um *dataset* balanceado: 23 das 47 acessíveis foram destinadas ao treino, somadas a 22 imagens inacessíveis sorteadas das 197 já rotuladas, totalizando 45 imagens de treino; o conjunto de teste foi composto por 46 imagens independentes do treino. Esse desenho garante que ambas as classes do treino tenham passado pelo mesmo instrumento de avaliação (PCHRD), o que é metodologicamente preferível à mistura de exemplos positivos curados com exemplos negativos de procedência distinta.

[2]Técnica de avaliação em que o conjunto de dados é dividido em k partições; o modelo é treinado e testado k vezes, utilizando a cada rodada uma partição distinta para teste e as demais para treino. A métrica final corresponde à média das rodadas, reduzindo o efeito de uma única divisão fortuita dos dados.

As duas iterações são descritas integralmente no Capítulo V. Conjuntamente, elas posicionam o PCHRD em duplo papel: como instrumento de avaliação dos critérios visuais e como instrumento de busca dirigida no espaço paramétrico.

IV.5 Fase 5: Corpora de artigos científicos e classificação por modelos de visão

A quinta fase estendeu a avaliação para *corpora* reais, de modo a verificar a aplicabilidade do método em contextos distintos do *dataset* sintético. A coleta foi conduzida em duas fontes:

- *PubMed Central* (PMC), explorado em etapa inicial de mineração automatizada de artigos com termos relacionados a ontologias e visualização biomédica;
- *Journal of Biomedical Semantics* (JBMS), selecionado como fonte primária por concentrar artigos cujo objeto central é a representação formal do conhecimento biomédico, garantindo maior densidade de visualizações ontológicas.

As imagens coletadas foram submetidas a dois modelos de IA generativa com recursos de visão computacional — *Claude Haiku* 4.5 (*Anthropic*) e *GPT-4o-mini* (*OpenAI*) — para classificação binária em ONTOLOGIA ou NÃO_ONTOLOGIA. A utilização de dois modelos seguiu uma lógica de triangulação: a comparação entre classificações de arquiteturas distintas permite identificar casos de alta concordância e de divergência, evidenciando ambiguidades inerentes ao *corpus*. Após análise qualitativa das divergências, optou-se pela curadoria manual e pela adoção das classificações do *Claude* como base do *corpus* final, conforme justificado em detalhe no Capítulo V.

A escolha por modelos multimodais com visão, em vez de classificadores tradicionais como o *Random Forest* utilizado na Fase 4, decorre da heterogeneidade das imagens reais em termos de estilo visual, resolução, densidade de nós, esquemas de cores e convenções gráficas, o que inviabiliza uma engenharia de atributos padronizada e precisa sem custo elevado.

IV.6 Fase 6: Análise do raciocínio do modelo via *Chain-of-Thought*

A sexta fase teve como objetivo inspecionar como os modelos operacionalizam cada critério do *framework* PCHRD e comparar seu raciocínio com o de um avaliador humano. Para tanto, adotou-se a técnica de *Chain-of-Thought* (CoT) [Wei et al., 2022], que transforma o paradigma de classificação direta em um paradigma *pergunta-raciocínio-resposta*: antes de emitir a classificação final, o modelo é instruído a explicitar sua definição operacional do critério para a imagem em avaliação, o que observou concretamente e por que atribuiu o escore 0 ou 1. Essa arquitetura de *prompt* é diretamente análoga às perguntas objetivas utilizadas na rotulagem humana (Seção IV.3.4), o que permite comparar não apenas as decisões finais, mas os percursos de inferência.

A abordagem foi aplicada a um conjunto de 40 imagens sintéticas previamente rotuladas manualmente pela autora, permitindo comparar tanto as classificações finais quanto as definições operacionais construídas pelo modelo. A análise comparativa entre classificação direta e classificação com CoT forneceu evidências sobre o comportamento dos modelos na avaliação de acessibilidade e sobre a viabilidade de seu uso como avaliadores automatizados, com achados apresentados integralmente no Capítulo V.

Durante a elaboração desta dissertação, foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial generativa, incluindo o ChatGPT, da OpenAI, o Gemini, do Google, e o Claude, da Anthropic, em modelos disponíveis nas respectivas plataformas durante o período de desenvolvimento da pesquisa, como apoio à revisão textual, resolução de problemas de compilação do LaTex na ferramenta Overleaf, depuração de códigos, estruturação de scripts e apoio no desenho gráfico das figuras Figura II.4 e Figura IV.1 Figura V.7 (todas foram desenhadas pela autora em suporte físico e retraçadas pela IA generativa). O uso dessas ferramentas teve caráter auxiliar e não substituiu a análise crítica, as decisões metodológicas, a construção do percurso científico, a interpretação dos resultados nem a autoria intelectual da pesquisadora. Todo o conteúdo final, textual e visual, foi revisado, validado e assumido integralmente pela autora.

Capítulo V Experimentos, Resultados e Discussão

Este capítulo integra a descrição completa dos experimentos realizados nesta pesquisa e a apresentação dos resultados obtidos. A organização segue o fluxo lógico da investigação: inicia-se com a Fase 1, dedicada à triangulação metodológica qualitativa; avança para a Fase 2, que consiste na modelagem quantitativa e geração dos *datasets* sintéticos rotulados pelo *framework* PCHRD; prossegue com a Fase 3, em que se constrói e avalia um *corpus* real a partir de artigos do *Journal of Biomedical Semantics*; e culmina na análise do raciocínio dos modelos de visão via *Chain-of-Thought*. Ao final, apresenta-se uma síntese integrada dos achados, discutindo limitações, implicações e contribuições para o campo da visualização acessível de ontologias biomédicas.

V.1 Fase 1: Triangulação Metodológica Qualitativa

A primeira fase consistiu em uma investigação qualitativa estruturada a partir de três eixos metodológicos: acessibilidade segundo as Diretrizes WCAG 2.1, usabilidade segundo os critérios ergonômicos de Bastien e Scapin (*Ergolist*), e comunicabilidade analisada pelo Método de Inspeção Semiótica com Leitor de Tela (MIS-LT). O objetivo desta fase não foi produzir resultados analíticos, mas caracterizar, de modo controlado e sistemático, o ambiente experimental no qual usuários com e sem leitor de tela interagem com visualizações ontológicas no BioPortal. Essa caracterização fundamenta o desenho e as justificativas da Fase 2.

A ontologia utilizada como referência em ambas as fases foi a *Sickle Cell Disease Ontology* (SCDO), composta por 2.072 classes distribuídas em até onze níveis hierárquicos. Seu porte intermediário permitiu observar tanto padrões de visualização quanto limitações estruturais do BioPortal.

V.1.1 Objetivo da Fase 1

A Fase 1 teve como finalidade caracterizar metodologicamente as barreiras enfrentadas por usuários, sobretudo aqueles que utilizam leitores de tela, ao interagir com a ferramenta de visualização de ontologias do BioPortal. Essa caracterização foi conduzida por meio de inspeções sistemáticas, ou seja, sem participação de usuários, seguindo uma triangulação entre métodos consolidados nas áreas de acessibilidade, ergonomia e engenharia semiótica.

Não se buscou mensurar impacto, propor métricas ou derivar conclusões estatísticas. O propósito

foi estabelecer um diagnóstico instrumental que orientasse o delineamento experimental da Fase 2, justificando a necessidade de geração de visualizações controladas.

V.1.2 Ambiente experimental e configurações de acessibilidade

Todas as inspeções foram realizadas em ambiente padronizado com uso do leitor de tela NVDA (versão 2023.1), sintetizador *eSpeak NG* em inglês, navegador *Google Chrome* e sistema operacional *Windows* 10 *Pro*. Essa configuração está alinhada à Pesquisa Sobre o Uso de Leitores de Tela (2022), que indica os padrões de uso da maioria dos entrevistados: NVDA (80,1%), *Windows* (90,4%) e *Chrome* (71,1%).

Os testes foram feitos sem *zoom*, em tela cheia e sem extensões. As inspeções de acessibilidade automatizada utilizaram a ferramenta *AccessMonitor* (`https://accessmonitor.acessibilidade.gov.pt`) e foram repetidas em dois momentos distintos, separados por dois meses.

A navegação concentrou-se na SCDO, especialmente na classe *Hemoglobin*, explorando os modos de visualização do BioPortal: *Term Neighborhood*, *Mappings Neighborhood*, *Path-to-root* e lista indentada.

V.1.3 Procedimento de avaliação segundo WCAG 2.1 (AccessMonitor)

O procedimento consistiu em avaliar a conformidade do BioPortal com as Diretrizes WCAG 2.1 por meio do *AccessMonitor*. Três páginas foram verificadas: a *homepage*, a página da classe *Hemoglobin* e a página do próprio *AccessMonitor* (utilizada como controle).

As inspeções foram realizadas em dois momentos distintos: (i) 9 de março de 2023 e (ii) dois meses depois. As diferenças numéricas observadas não são interpretadas como resultados analíticos, mas como evidência de variação estrutural característica de aplicações *web* dinâmicas, reforçando a necessidade de avaliações repetidas.

A Figura V.1 apresenta o relatório do *AccessMonitor* obtido na primeira inspeção, ilustrando a distribuição das práticas acessíveis, não acessíveis e dependentes de verificação manual.

As visualizações da classe *Hemoglobin* foram posteriormente inspecionadas em quatro representações distintas, apresentadas nas Figuras V.2 a V.5. A análise evidenciou variações significativas de densidade e organização hierárquica, sugerindo desafios de legibilidade e motivando a criação de visualizações controladas na Fase 2.

V.1.4 Procedimento ergonômico (*Ergolist* – Bastien e Scapin)

O *checklist* ergonômico foi aplicado com base nos critérios de Bastien and Scapin [1993], organizados no instrumento *Ergolist*, que estrutura a avaliação em 18 dimensões de usabilidade — como presteza, feedback, legibilidade e consistência — distribuídas em 194 questões no total. A

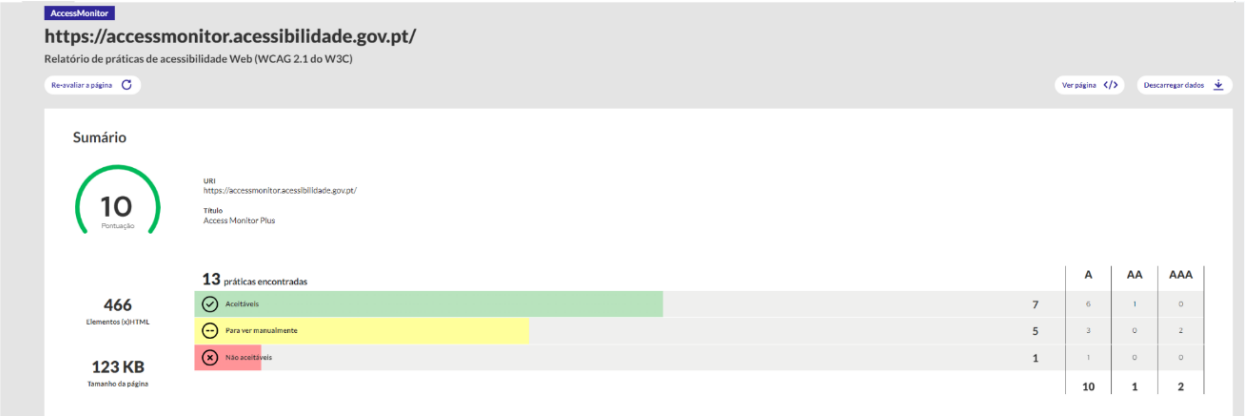


Figura V.1: Relatório gerado pelo *AccessMonitor* na avaliação de 9 de março de 2023, indicando práticas acessíveis, práticas que requerem inspeção manual e práticas não acessíveis segundo a WCAG 2.1.

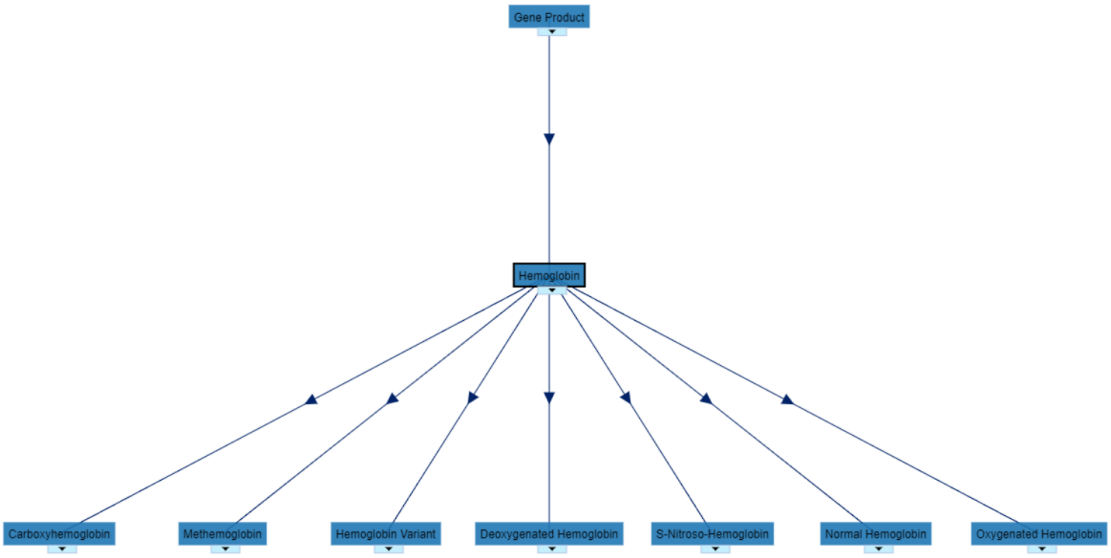


Figura V.2: Visualização *Term Neighborhood* com *layout* vertical da classe "*Hemoglobin*" da *Sickle Cell Disease Ontology* no BioPortal.

análise foi conduzida em dois momentos complementares: (1) com o leitor de tela NVDA ativo e (2) sem o leitor de tela, a fim de comparar a experiência dos dois perfis de usuário. Os resultados são apresentados nas Tabelas V.1 e V.2, respectivamente.

V.1.5 Procedimento de análise de comunicabilidade (MIS-LT)

O método MIS-LT foi aplicado com o objetivo de examinar a metacomunicação do BioPortal, ou seja, a mensagem implícita transmitida ao usuário sobre quem ele é, o que pode fazer e como deve operar a interface. A inspeção foi conduzida por uma única avaliadora especializada, com conhecimento prévio na técnica, de forma a otimizar o tempo da análise e focar simultaneamente tanto nos problemas gerais da visualização de ontologias quanto nas particularidades comunicacionais do

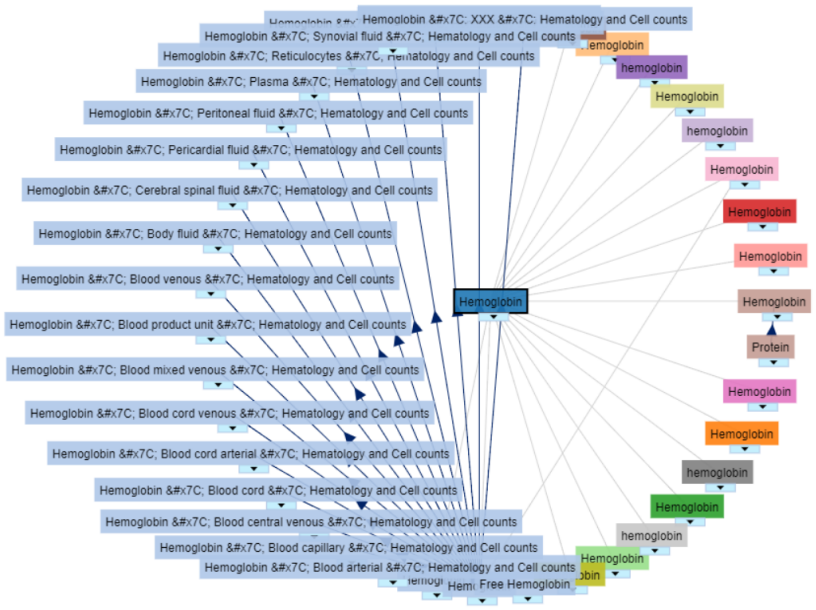


Figura V.3: Visualização *Mappings Neighborhood* com *layout* centralizado da classe "*Hemoglobin*" da *Sickle Cell Disease Ontology* no BioPortal.

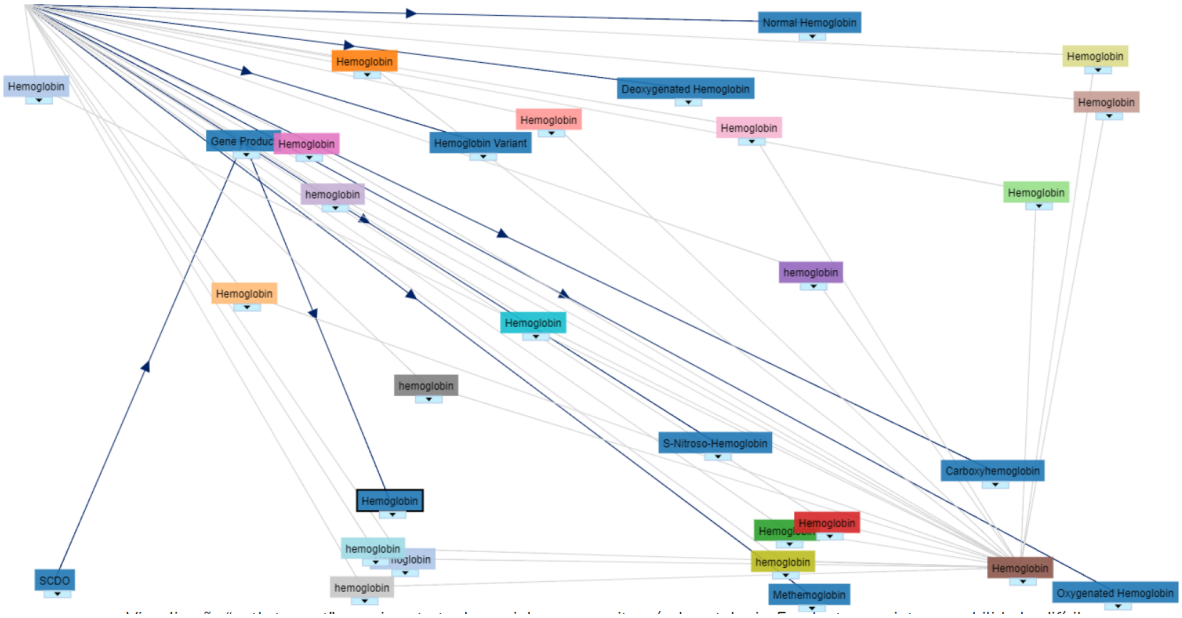


Figura V.4: Visualização *Path-to-root* com *layout* centralizado da classe "*Hemoglobin*" da *Sickle Cell Disease Ontology* no BioPortal.

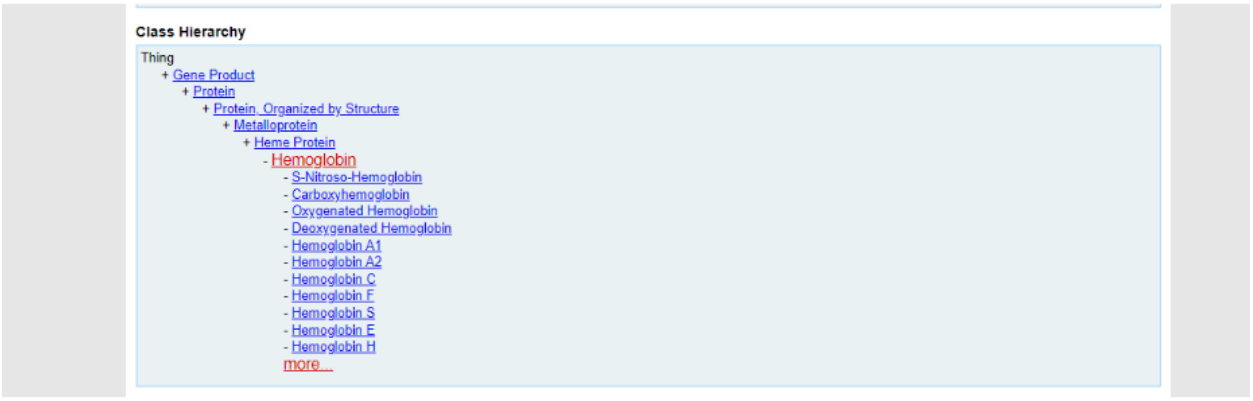


Figura V.5: Visualização em lista indentada da classe "*Hemoglobin*" da *Sickle Cell Disease Ontology* no BioPortal.

Tabela V.1: Análise ergonômica aplicada com o leitor de tela.

Critério	**Nº questões**	**Conformes**	**Não conformes**	**Não aplicáveis**
Presteza	17	4	6	7
Agrupamento por localização	11	5	0	6
Agrupamento por formato	17	0	1	16
Feedback	12	0	1	11
Legibilidade	27	0	0	27
Concisão	14	5	2	6
Ações mínimas	5	2	0	2
Densidade informacional	9	2	2	5
Ações explícitas	4	2	0	2
Controle do usuário	4	0	0	4
Flexibilidade	3	0	0	3
Experiência do usuário	6	1	2	3
Proteção contra erros	7	0	2	5
Mensagem de erros	9	4	2	3
Correção de erros	5	0	0	5
Consistência	11	6	1	4
Significados	12	5	1	5
Compatibilidade	21	2	1	18
Total	194	41 (21,13%)	21 (10,82%)	132 (68,04%)

BioPortal.

Considerando que tanto o BioPortal quanto o MIS-LT são apresentados em inglês, a análise contemplou também barreiras linguísticas que afetam usuários que dependem de leitores de tela configurados para o português. Para pessoas cegas, com baixa visão ou com dislexia, a leitura do NVDA exige ajustes específicos no sintetizador para que palavras, termos técnicos e identificadores sejam corretamente pronunciados. Esse aspecto é particularmente relevante quando se avaliam ferramentas biomédicas com alto volume de rótulos, siglas e PURLs (*Persistent Uniform Resource Locators*, identificadores persistentes usados para nomear de forma única classes e propriedades em ontologias).

Segundo Everis Brasil [2022], a maioria dos usuários de leitores de tela (35,3%) navega usando a

Tabela V.2: Análise ergonômica aplicada sem o leitor de tela.

Critério	**Nº questões**	**Conformes**	**Não conformes**	**Não aplicáveis**
Presteza	17	12	2	3
Agrupamento por localização	11	8	0	3
Agrupamento por formato	17	12	2	3
Feedback	12	4	0	8
Legibilidade	27	16	0	11
Concisão	17	12	2	3
Ações mínimas	5	5	0	0
Densidade informacional	9	7	1	1
Ações explícitas	4	2	0	2
Controle do usuário	4	4	0	0
Flexibilidade	3	0	0	3
Experiência do usuário	6	1	1	4
Proteção contra erros	7	1	1	5
Mensagem de erros	9	5	2	2
Correção de erros	5	1	0	4
Consistência	11	7	3	1
Significados	12	11	0	1
Compatibilidade	21	4	1	16
Total	194	106 (54,63%)	13 (6,70%)	75 (38,65%)

tecla seta para baixo; 31,6% utilizam a tecla `H` ou os números de 1 a 6 para navegar por cabeçalhos; e 25,2% percorrem a página por meio dos *links*. Como a visualização de ontologias no BioPortal é estruturada em listas de *links*, optou-se por utilizar majoritariamente a navegação por setas, simulando o comportamento predominante entre usuários reais.

Passo 1: Inspeção sem o leitor de tela

Etapa 0: Preparação da interação. A avaliação sem leitor de tela concentrou-se na *homepage* do BioPortal, nas listas indentadas da *Sickle-cell Disease Ontology* (SCDO) e na aba *Visualization*, que reúne os modelos *Path-to-root*, *Term Neighborhood* e *Mappings Neighborhood*. Todas essas representações, apesar de diferenças estéticas, podem ser tratadas como árvores interativas compostas por nós e *links* com *zoom* e expansão.

Para guiar a inspeção, construiu-se um cenário de uso específico, conforme orienta Carvalho et al. [2018], reduzindo o escopo e aumentando a profundidade da análise:

Pedro é um estudante de mestrado de 25 anos, fluente em inglês, com deficiência visual, cursando Metodologia Científica. Sua pesquisa utiliza a Sickle-cell Disease Ontology, e ele precisa explorar termos, relações hierárquicas e classes desatualizadas no BioPortal. O objetivo de Pedro é navegar pela ontologia, compreender sua estrutura geral e examinar classes específicas, como Hemoglobin, tanto em formato de lista quanto nos grafos disponibilizados.

Esse cenário foi inspirado no perfil majoritário da pesquisa de uso de leitores de tela de 2022, garantindo maior representatividade dos comportamentos esperados.

Etapa 1: Análise dos signos metalinguísticos. A documentação disponível na aba *Help* e os *pop-ups* do sistema *Take a tour!* constituem os principais signos metalinguísticos. Esses elementos orientam o usuário quanto aos botões, ao posicionamento de nós e ao funcionamento geral da visualização.

Etapa 2: Signos estáticos. Foram identificados signos como:

- logotipo do BioPortal (retorno à *homepage*),
- abas fixas: *Ontologies*, *Search*, *Annotator*, *Recommender*, *Mappings*,
- campo estático de busca com a instrução *Start typing ontology name, then choose from list.*

Esses signos compõem a camada estrutural da metacomunicação, orientando expectativas e trajetórias de navegação.

Etapa 3: Signos dinâmicos. Os signos dinâmicos aparecem em quase toda a interface:

- mudanças de cor em botões ao passar o *mouse*,
- listas suspensas (*Browse Ontologies*, filtros da aba *Visualization*),
- botões interativos (*Fullscreen*, *Screenshot*),
- sistemas de ajuda dependentes de *hover*, como o próprio *Take a tour*.

Etapa 4: Apreciação da metacomunicação. A inspeção sem leitor de tela revelou a seguinte metamensagem:

> Você é alguém que compreende inglês, possui familiaridade com terminologias biomédicas e deseja pesquisar ontologias para fins acadêmicos ou aplicados. O sistema pressupõe conhecimento prévio sobre hierarquia ontológica, classes e mapeamentos, e oferece múltiplas formas de acesso à informação.

No entanto, certas escolhas comunicacionais geram ambiguidade:

- o ícone de "casa" redireciona para a *homepage* dos autores da ontologia, não do BioPortal;
- o botão *Search* está associado à busca por classes, não por ontologias;
- o ícone de elos entrelaçados aparece repetidamente, dificultando o entendimento de suas funções distintas.

Passo 2: Interação mediada por leitor de tela

Para a inspeção com NVDA, foi necessário configurar o sintetizador *eSpeak NG* para leitura em inglês, já que a pronúncia em português gerava erros substanciais, especialmente em nomes biomédicos e PURLs. A navegação reproduziu o mesmo percurso descrito no Passo 1: buscar a SCDO no BioPortal, acessar a lista indentada da ontologia, localizar a classe *Hemoglobin* e testar as visualizações disponíveis (*Term Neighborhood*, *Mappings Neighborhood* e *Path-to-root*).

Embora o BioPortal apresente descrições formais para a maioria dos elementos, a experiência com NVDA mostrou divergências significativas:

- repetição excessiva do logotipo como "*link* sem etiqueta",
- leitura contínua de ícones como "*link link link*",
- ausência de leitura de *pop-ups*, incluindo o *Take a tour*,
- incapacidade de transmitir hierarquias visuais,
- leitura confusa de números extensos das PURLs.

A metamensagem reconstruída com o leitor de tela evidencia uma compreensão radicalmente distinta da obtida por usuários sem deficiência visual:

> Você é alguém com deficiência visual que fala inglês, mas terá acesso limitado à compreensão estrutural da ontologia. Navegará por listas lineares, sem diferenciação hierárquica, e dependerá de estratégias de tentativa e erro para localizar informações.

Passo 3: Contraste entre as metamensagens

A comparação entre as duas inspeções mostra que, embora a acessibilidade estrutural (WCAG) seja atendida, a comunicabilidade e a usabilidade divergem profundamente. As visualizações, essenciais para compreensão rápida das ontologias, tornam-se inoperantes para leitores de tela, deixando ao usuário apenas a lista indentada como recurso viável. Isso confirma que:

- acessibilidade técnica não garante acessibilidade perceptiva;
- a usabilidade da ferramenta é severamente prejudicada para usuários do leitor de tela NVDA;
- a metacomunicação projetada não é transmitida para quem usa tecnologia assistiva.

V.1.6 Análise ergonômica consolidada

Os resultados consolidados da avaliação ergonômica são apresentados na Tabela V.3. Os dados indicam que 67% das questões tradicionais foram consideradas "Não aplicáveis". Isso evidencia que

critérios genéricos de usabilidade não capturam adequadamente as particularidades da visualização de informação, reforçando o recorte metodológico adotado na Fase 2: delimitar a investigação à dimensão da **acessibilidade** e adotar um *framework* específico para visualizações.

Tabela V.3: Resultados consolidados da avaliação por critérios ergonômicos (Bastien e Scapin).

Critério	**Nº quest.**	**Conf.**	**Não conf.**	**Não apl.**	**Não resp.**
Presteza	17	4	6	7	0
Agrup. localização	11	5	0	6	0
Agrup. formato	17	0	1	16	0
Feedback	12	0	1	11	0
Legibilidade	27	0	0	27	0
Concisão	14	5	2	6	1
Ações mínimas	5	2	0	2	1
Dens. Informacional	9	2	2	5	0
Ações explícitas	4	2	0	2	0
Controle do usuário	4	0	0	4	0
Flexibilidade	3	0	2	1	0
Exp. do usuário	6	1	2	3	0
Proteção erros	7	0	2	5	0
Mensagem de erros	9	4	2	3	0
Correção de erros	5	0	0	5	0
Consistência	11	6	1	4	0
Significados	12	5	1	5	1
Compatibilidade	21	2	1	18	0
Total	194	38 (19,58%)	23 (11,85%)	130 (67,01%)	3 (1,54%)

V.1.7 Integração dos procedimentos da Fase 1

A triangulação metodológica revelou:

- acessibilidade automatizada não garante experiência satisfatória;
- há uma diferença significativa de usabilidade entre usuários com e sem leitor de tela;
- há rupturas comunicativas relevantes sob uso do NVDA;
- critérios genéricos de usabilidade são majoritariamente inaplicáveis a visualizações abstratas.

Esses achados fundamentam a necessidade da Fase 2, que desenvolve visualizações controladas, *datasets* experimentais independentes e adota o *framework* PCHRD como instrumento de rotulagem específico para visualizações estáticas de ontologias.

V.2 Fase 2: Modelagem Quantitativa e Geração dos *Datasets*

A segunda fase desta pesquisa consistiu na construção de um ambiente experimental controlado para geração de visualizações de ontologias fora do BioPortal. Essa etapa foi motivada pelas limitações observadas na Fase 1, que evidenciaram a dificuldade de estruturar análises comparativas sobre acessibilidade e legibilidade visual utilizando apenas representações nativas do portal. Assim,

tornou-se necessário criar duas bases independentes de imagens, manipulando sistematicamente variáveis estruturais e estéticas das visualizações, de modo a possibilitar posteriormente a rotulagem pelo PCHRD e o treinamento de um modelo de classificação.

V.2.1 Estrutura geral dos experimentos

A modelagem quantitativa foi implementada em *Python* 3.10, utilizando majoritariamente as bibliotecas *NetworkX* para manipulação e disposição dos grafos, *RDFLib* para carregamento da ontologia no formato OWL e *Matplotlib* para renderização gráfica. Todo o ambiente computacional foi mantido estável, assegurando reprodutibilidade dos experimentos.

Diferentemente das visualizações do BioPortal, sobre as quais não há controle sobre a camada interna de renderização, os grafos produzidos nesta fase foram totalmente parametrizáveis. Isso permitiu isolar o impacto de elementos como densidade, *layout*, paletas cromáticas, espessura de arestas e características tipográficas — fatores reconhecidamente relevantes para a legibilidade de grafos complexos.

Os experimentos foram divididos em dois conjuntos independentes: o *Dataset* Estrutural e o *Dataset Hemoglobin*, descritos nas subseções a seguir.

V.2.2 *Dataset* Estrutural (experimento de densidade)

O primeiro experimento teve como objetivo documentar a evolução da legibilidade estrutural de uma visualização de ontologia conforme a quantidade de nós é reduzida progressivamente. Partindo da SCDO completa, contendo 2.072 classes, foram geradas 2.071 visualizações consecutivas. Em cada iteração, removia-se um nó do grafo e recalculava-se o *layout*, produzindo a respectiva imagem.

O processo geral consistiu em:

1. Carregamento integral da SCDO utilizando *RDFLib*.
2. Extração das classes como nós e das relações hierárquicas como arestas.
3. Renderização inicial da ontologia completa.
4. Remoção de um nó por iteração, atualizando a estrutura remanescente.
5. Geração e armazenamento de uma imagem por iteração (total de 2.071 arquivos).

V.2.3 *Dataset Hemoglobin* (experimento de parametrização visual)

O segundo experimento consistiu na geração de um conjunto extenso de visualizações controladas a partir de uma rede egocentrada na classe *Hemoglobin* e seus nós diretamente relacionados. A escolha dessa classe fundamenta-se em sua relevância biomédica e seu porte moderado dentro da

SCDO, permitindo manipulações visuais sem perda de significado estrutural. O experimento foi desenhado para avaliar o efeito combinado de cores, *layout*, tamanho dos nós, *design* das arestas, tamanhos e pesos de fonte na legibilidade das visualizações.

A geração foi organizada em **três sub-etapas complementares**, estruturadas para permitir inspeções específicas sobre o efeito do fundo no contraste percebido:

1. **Sub-etapa 1 — Cores e parâmetros randomizados sem restrição de fundo:** combinações livres de parâmetros gráficos, sem controle do plano de fundo;
2. **Sub-etapa 2 — Fundo branco com parâmetros randomizados:** mesmo universo paramétrico, porém fixando o fundo branco para isolar o efeito do contraste claro;
3. **Sub-etapa 3 — Fundo preto com parâmetros randomizados:** configuração análoga à anterior, com fundo preto, para isolar o efeito do contraste escuro.

As dimensões visuais variáveis incluíram:

- ***Layouts***: *spring* (posicionamento por simulação de forças, em que nós se repelem e arestas atuam como molas), *circular* (nós dispostos ao longo de um círculo), *kamada_kawai* (posicionamento que busca aproximar as distâncias no desenho das distâncias do grafo) e *spiral* (nós distribuídos ao longo de uma espiral);
- **Cores de fundo**: branco e preto (sub-etapas 2 e 3);
- **Paletas cromáticas dos nós**: esquemas derivados de *colormaps* do *Matplotlib*;
- **Espessura das arestas**: três variações distintas;
- **Propriedades tipográficas**: tamanhos e pesos variados de fonte.

A combinação desses parâmetros resultou em 3.048 imagens únicas. Cada imagem corresponde a uma configuração visual específica, permitindo inspeções de acessibilidade e legibilidade em larga escala, além de fornecer material adequado para o classificador. Dessas, 197 imagens foram selecionadas aleatoriamente (via biblioteca `random` do *Python*) para compor o conjunto de rotulagem segundo o *framework* PCHRD.

Limitação cromática reconhecida desde a geração

Por serem resultado de escolhas randômicas, as imagens coloridas da Sub-etapa 1 acabam por retirar o significado semântico do elemento *cor*: o *colormap* é aplicado sem correspondência com a origem dos nós, os tipos de relações ou os níveis hierárquicos. Essa é uma limitação reconhecida desde a concepção do experimento. Um estudo futuro, descrito no Capítulo VI, consistirá em

randomizar cores *únicas* por categoria de nós, arestas e rótulos, restaurando a função semântica da codificação cromática. O critério Perceptível foi, portanto, zerado em todas as imagens para não interferir na classificação.

V.2.4 Simulações de daltonismo com o *Coblis* e *OpenCV*

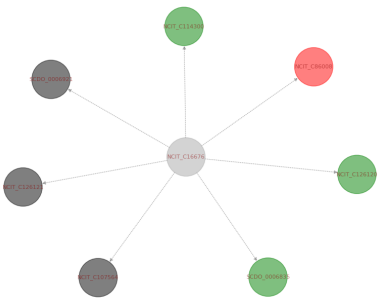
Para verificar a robustez cromática das visualizações produzidas, uma amostra das imagens rotuladas passou por inspeção complementar com o simulador *Colblindor/Coblis* (*Color Blindness Simulator*)[1], que simula as condições *Protanopia*, *Deuteranopia* e *Tritanopia*. As simulações não foram utilizadas como rótulos ou métricas, mas como documentação visual do impacto das paletas cromáticas em usuários com deficiências de percepção de cor, informando também o julgamento perceptivo durante a rotulagem pelo PCHRD — incorporar cor como critério tornaria o processo ainda mais enviesado. Como complemento, as mesmas transformações foram reproduzidas localmente por meio de um *script* Python com a biblioteca *OpenCV*, aplicando matrizes de simulação similares às do *Coblis* e permitindo processar o conjunto completo de imagens rotuladas de forma automatizada. O *dataset* resultante não interfere na classificação, funcionando exclusivamente como documentação visual do impacto das paletas cromáticas em condições que poderão ser exploradas em estudos futuros, para além da baixa visão funcional.

A Figura V.6 ilustra o resultado da simulação para a `combinacao_40.1` com o *Coblis*, nas condições *Red-Weak/Protanomaly* e *Green-Blind/Deuteranopia*, comparadas à imagem original. A Figura V.6 também apresenta as simulações equivalentes geradas via *OpenCV* nas três condições (*Protanopia*, *Deuteranopia* e *Tritanopia*), evidenciando a perda de distinção cromática entre os nós em todos os cenários e confirmando a equivalência entre as duas abordagens.

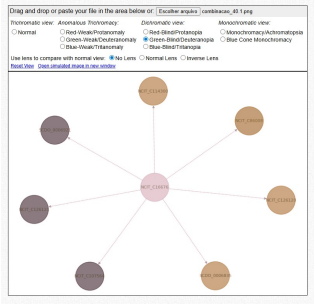
Conforme detalhado no Capítulo IV, o *framework* PCHRD foi formalizado como adaptação do *Chartability* [Elavsky et al., 2022] ao contexto de visualizações estáticas de ontologias. Retomam-se, aqui, apenas seus critérios operacionais, por serem diretamente instrumentados nesta fase:

- **Perceptível (P)** — distingue se elementos principais são visualmente identificáveis, considerando contraste, tamanho e ausência de sobreposição crítica;
- **Compreensível (C)** — avalia se a estrutura apresentada permite inferências significativas;
- **Hierarquia Clara (H)** — identifica a presença perceptível de níveis estruturais;
- **Rotulagem Efetiva (R)** — considera legibilidade dos rótulos e ausência de sobreposição textual;
- **Distinguível (D)** — avalia se cores e formas auxiliam na diferenciação dos nós;

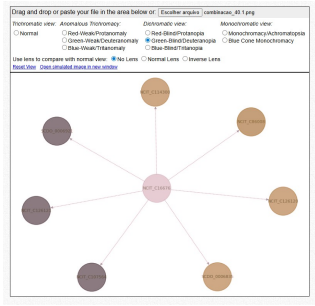
[1] Disponível em `https://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator/`



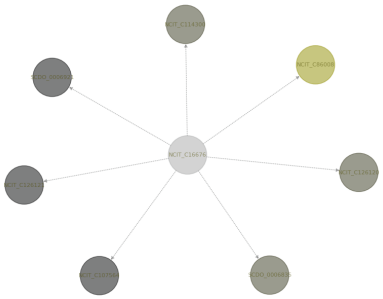
(a) Original



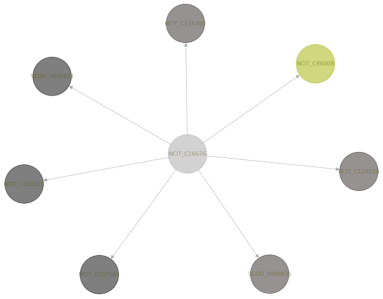
(b) *Protanomaly*



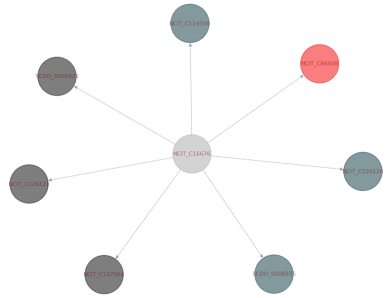
(c) *Deuteranopia*



(d) *Protanopia*



(e) *Deuteranopia*



(f) *Tritanopia*

Figura V.6: Simulações de daltonismo para a `combinacao_40.1`: (a) imagem original; (b) *protanomaly*; (c) *deuteranopia*; (d) *protanopia*; (e) *deuteranopia*; (f) *tritanopia*. As simulações (b) e (c) foram geradas com o *Coblis*, e as demais via *OpenCV*. Fonte: elaboração própria.

- **Robusto** — integra o modelo conceitual, mas não se aplica a imagens rasterizadas, sendo sempre zerado nas visualizações produzidas por *NetworkX* e *Matplotlib*, uma vez que essas bibliotecas, assim como o aplicativo *Fotos* do *Windows*, não oferecem suporte nativo a texto alternativo ou a leitores de tela.

Cada critério foi avaliado em escala binária (0 = não conforme; 1 = conforme). Uma visualização foi classificada como **Acessível** (rótulo 1) quando atendeu a pelo menos 75% dos critérios aplicáveis; do contrário, como **Não Acessível** (rótulo 0).

Perguntas objetivas de inspeção

Para reduzir subjetividade e padronizar o julgamento, cada critério foi operacionalizado por perguntas objetivas, utilizadas como *proxies* de inspeção visual durante a rotulagem. Essas mesmas perguntas constituem, posteriormente, o esqueleto dos *prompts* com *Chain-of-Thought* aplicados aos modelos de visão na Fase 4. A Tabela V.4 sintetiza essas perguntas.

Tabela V.4: Perguntas objetivas utilizadas na operacionalização dos critérios do PCHRD.

Critério	**Perguntas de inspeção**
Perceptível	O contraste de cores e o tamanho do texto garantem boa legibilidade? As informações visuais podem ser compreendidas sem depender apenas de cores?
Compreensível	O *layout* facilita a compreensão dos dados? As instruções da visualização são claras?
Robusto	A visualização funciona bem em diferentes dispositivos e com leitores de tela? A visualização se adapta a modos de alto contraste?
Hierarquicamente Claro	As relações hierárquicas são facilmente identificáveis? O uso de camadas ou posicionamento ajuda a entender a hierarquia?
Rotulado Efetivamente	Os rótulos são legíveis e associados corretamente aos elementos? Os rótulos fornecem informações claras e suficientes?
Distinguível	Os nós e conexões são distinguíveis claramente por cores, formas ou estilos? Há codificação visual redundante para ajudar na identificação dos elementos?

V.2.5 Condições experimentais de rotulagem

A rotulagem foi realizada pela autora deste trabalho em ambiente estritamente controlado, mantido constante ao longo de todas as sessões, conforme sintetizado na Tabela V.5. Essa padronização garantiu que variações de iluminação, calibração do monitor ou configurações de *software* não introduzissem ruído adicional nos julgamentos.

Tabela V.5: Condições controladas para a rotulagem das visualizações sintéticas.

Elemento	**Configuração**
Monitor	AOC 21,5 polegadas
Clear Vision	Desativado
Contraste	50%
Brilho	90%
Eco mode	Padrão
Gamma	*Gamma 1*
DCR	Desativado
HDR	Desativado
Sistema operacional	*Windows 10 Pro*, versão 22H2
Software de visualização	Aplicativo *Fotos* do *Windows*, escala 100% (sem ampliação)
Iluminação ambiente	Luzes apagadas, a fim de evitar interferência de reflexos

O processo ocorreu em duas etapas complementares: (i) seleção aleatória de 197 imagens do *Dataset Hemoglobin* para rotulagem pelos seis critérios do PCHRD; (ii) seleção manual adicional de 47 imagens com características favoráveis à acessibilidade, adicionadas ao conjunto anterior para compor um *dataset* balanceado para a iteração binária de modelagem.

V.2.6 Resultados da Fase 2

Limites estruturais da visualização

A análise do *dataset* Estrutural, formado pela redução progressiva de nós da ontologia SCDO, permitiu identificar o limiar de inteligibilidade para grafos estáticos gerados via *Python*. Observou-se que, para os *layouts* de força (*spring layout*) e circular, com tamanho de nó 300 e arestas finas, as visualizações só se tornam distinguíveis — isto é, deixam de se apresentar como um aglomerado de *pixels* sobrepostos, ou seja, quando o grafo possui entre 29 e 33 nós.

Acima desse limiar, a densidade visual compromete irremediavelmente os critérios (P)erceptível e (H)ierarquia, independentemente da qualidade do monitor ou das condições visuais do usuário. É importante ressaltar que esse resultado **não é diretamente generalizável**: ele contempla um padrão específico de formação (*layouts spring* e circular, tamanho de nós 300, arestas finas). Ainda assim, oferece uma referência concreta para compreender como visualizações se comportam em ontologias de porte similar à SCDO. Estudos futuros poderão variar sistematicamente esses parâmetros a fim de verificar se há uma média generalizável entre diferentes configurações.

Iterações de modelagem com *Random Forest*

A modelagem supervisionada foi conduzida em duas iterações com finalidades complementares, descritas a seguir. A leitura conjunta das duas é o que dá sentido ao papel do *Random Forest* nesta pesquisa: não como classificador definitivo de acessibilidade, mas como instrumento auxiliar para sondar a prevalência de acessibilidade no espaço paramétrico e, em seguida, verificar se atributos

visuais carregam sinal discriminativo quando ambas as classes estão representadas.

A Figura V.7 sintetiza o pipeline completo de geração, amostragem e modelagem.

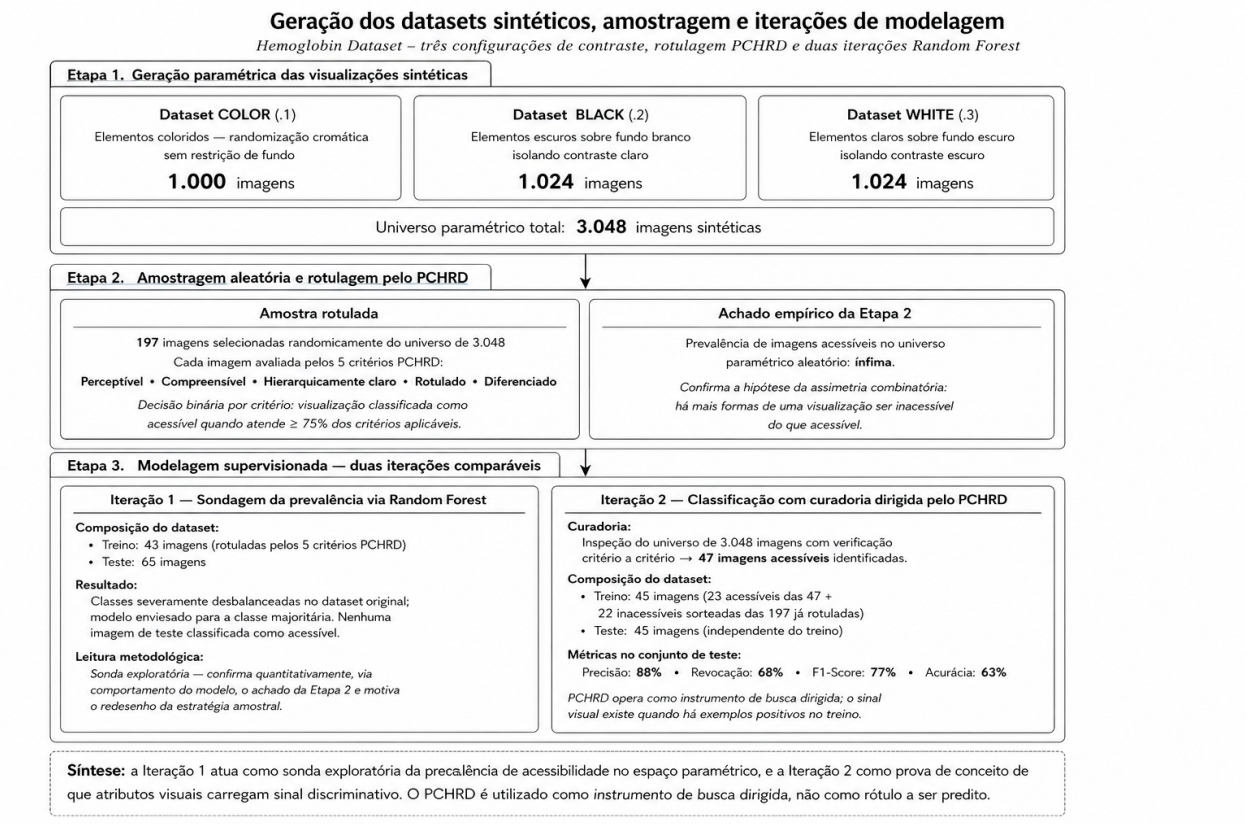


Figura V.7: Geração dos datasets sintéticos, amostragem e iterações de modelagem.Fonte: Elaboração própria.

Iteração 1: sondagem da prevalência via *Random Forest*. Na primeira iteração, o modelo foi treinado com 43 imagens e avaliado em 65 imagens, ambos os conjuntos extraídos das 197 imagens rotuladas pelos cinco critérios PCHRD, sem qualquer intervenção amostral. Os rótulos seguiram a regra multicritério (acessível quando $\geq 75\%$ dos critérios aplicáveis foram atendidos). As miniaturas das imagens utilizadas na seleção randômica e rótulos atribuídos constam no Apêndice A.

Como esperado em um *dataset* fortemente desbalanceado, o modelo aprendeu a classe majoritária e não identificou nenhuma imagem de teste como acessível.

A leitura desse resultado é o que importa metodologicamente: o comportamento do classificador **confirma computacionalmente o achado da rotulagem manual**, ou seja, a prevalência de visualizações acessíveis em geração paramétrica aleatória é tão baixa que um modelo supervisionado, exposto a essa distribuição, converge para a classe negativa. Trata-se de evidência convergente, não de falha de classificação.

Essa observação suscita uma reflexão epistemológica relevante para o campo: **há, combinatoriamente, mais formas de uma visualização ser inacessível do que acessível**. Enquanto a acessibilidade exige a satisfação simultânea de múltiplos critérios, a inacessibilidade pode decorrer

da falha em qualquer um deles — produzindo uma assimetria estrutural natural entre as classes. Esse achado motivou o redesenho amostral da Iteração 2.

Iteração 2: prova de conceito com curadoria dirigida pelo PCHRD. A Iteração 2 foi planejada como prova de conceito: verificar se, dado um conjunto adequadamente balanceado, atributos visuais extraídos automaticamente carregam sinal discriminativo capaz de distinguir visualizações acessíveis das demais.

O redesenho amostral utilizou o próprio PCHRD como instrumento de busca dirigida: percorreu-se o universo de 3.048 imagens, aplicando-se os critérios para identificar 47 visualizações acessíveis. A partir dessa curadoria, compôs-se um *dataset* balanceado:

- **Treino** (45 imagens): 23 das 47 acessíveis identificadas pela curadoria + 22 imagens inacessíveis sorteadas das 197 já rotuladas;
- **Teste** (46 imagens): conjunto independente do treino, com rotulagem binária.

Cabe destacar que ambas as classes do treino foram avaliadas pelo mesmo instrumento (PCHRD), o que é metodologicamente preferível à mistura de exemplos positivos curados com exemplos negativos de procedência distinta.

Sob esse desenho, o *Random Forest* foi treinado e avaliado, e os resultados no conjunto de teste encontram-se na Tabela V.6.

Tabela V.6: Métricas de desempenho do modelo *Random Forest* (Iteração 2).

Métrica	**Valor obtido**
Precisão (*Precision*)	0,88 (88,24%)
Revocação (*Recall*)	0,68 (68,18%)
F1-Score	0,77 (76,92%)
Acurácia (*Accuracy*)	0,63 (62,5%)

Interpretação:

As métricas reportadas seguem as definições usuais em classificação binária: a **precisão** (*precision*) é a proporção de acertos entre as visualizações que o modelo classificou como acessíveis; a **revocação** (*recall*) é a proporção de visualizações de fato acessíveis que o modelo conseguiu recuperar; o **F1-Score** é a média harmônica entre precisão e revocação; e a **acurácia** (*accuracy*) é a proporção total de classificações corretas sobre o conjunto.

- **Alta precisão (88%):** o modelo raramente classifica como acessível uma visualização que não atende ao PCHRD.
- **Revocação moderada (68%):** o modelo deixa passar uma parcela das visualizações acessíveis.

- **Acurácia global (63%):** reflete a dificuldade intrínseca da tarefa.

Síntese das duas iterações. A partir da leitura conjunta, pode-se estabelecer três resultados: (i) a acessibilidade visual não emerge de geração paramétrica aleatória, exige design intencional e há muito mais formas de não ser acessível do que de ser acessível; (ii) atributos visuais carregam sinal discriminativo quando há balanceamento adequado; (iii) o PCHRD demonstra utilidade dual como instrumento de avaliação e de busca dirigida.

V.3 Fase 3: *Corpus* de Artigos Científicos do *Journal of Biomedical Semantics*

V.3.1 Motivação e seleção do *corpus*

A terceira fase desta pesquisa teve como objetivo estender a avaliação da acessibilidade de visualizações ontológicas para além das imagens sintéticas da SCDO, verificando se os resultados obtidos em contexto controlado se sustentam em um *corpus* de imagens reais extraídas de artigos científicos biomédicos. A hipótese central era a de que modelos de linguagem com visão computacional poderiam ser empregados como avaliadores automatizados de acessibilidade em escala, operacionalizando o *framework* PCHRD sem a dependência direta de avaliação humana para cada imagem.

O *Journal of Biomedical Semantics* (JBMS) foi selecionado como fonte do *corpus* por reunir, de forma única, as dimensões biomédica, semântica e estrutural necessárias aos objetivos da pesquisa. Conforme descrito em seu escopo editorial [Journal of Biomedical Semantics, 2026], o periódico abrange duas grandes áreas: (i) infraestrutura para semântica biomédica, com foco em recursos semânticos e repositórios, *design* de ontologias, padrões de metadados, representação do conhecimento, *frameworks* semânticos, *Web* Semântica Biomédica e interoperabilidade semântica; e (ii) mineração semântica, anotação e análise, com foco em abordagens e aplicações de recursos semânticos e em ferramentas para investigação, raciocínio, predição, modelagem por inteligência artificial e descobertas em biomedicina. O periódico é publicado em acesso aberto pela *BioMed Central* (*Springer Nature*), adota política mandatória de compartilhamento de dados de pesquisa e foi classificado no quartil Q2 pelo *SCImago* em 2024, com fator de impacto de 2,61.

Essa especificidade temática aumenta substancialmente a densidade esperada de visualizações ontológicas entre as figuras dos artigos, em comparação com bases generalistas, tornando o *corpus* mais auditável e adequado aos objetivos da pesquisa. A fundamentação para a construção de um corpus de imagens reais remete ao trabalho seminal de Deng et al. [2009], que argumenta que uma ontologia de imagens em grande escala constitui um recurso crítico para o desenvolvimento de algoritmos avançados de busca e compreensão visual, além de fornecer dados essenciais de treinamento e avaliação de sistemas de classificação.

V.3.2 Exploração preliminar via *PubMed Central* e decisão de migração

Antes da coleta no JBMS, foi conduzida uma etapa exploratória de mineração de artigos no *PubMed Central* (PMC), repositório de acesso aberto do NCBI (*National Center for Biotechnology Information*). Um *pipeline* automatizado em *Python* foi desenvolvido para baixar artigos com termos relacionados a ontologias e visualização biomédica, processando 3.876 artigos e extraindo 27.070 imagens. Contudo, a inspeção dos resultados revelou que a densidade de visualizações ontológicas reais nesse *corpus* era muito baixa.

Para quantificar essa limitação, o *pipeline* de classificação por modelos de visão foi aplicado às figuras pré-filtradas pelo conteúdo das legendas dos artigos no PMC (arquivos NXML), cujas legendas mencionavam termos como *ontology*, GO ou RDF. Das 550 figuras candidatas resultantes desse pré-filtro — provenientes de 324 artigos distintos —, apenas 17 foram confirmadas como visualizações de ontologias (3,1%), com confiança média de 0,91. Os outros 96,2% correspondiam predominantemente a gráficos de enriquecimento GO (*bubble charts*, gráficos de barras de *GO enrichment*, análises KEGG) — ou seja, imagens que utilizam resultados de ontologias como insumo de análises estatísticas, mas não visualizam a estrutura ontológica em si. Dos 324 artigos avaliados, apenas 14 continham ao menos uma figura ontológica.

Esse resultado confirma empiricamente a decisão de migrar o *corpus* primário para o JBMS: enquanto o PMC é uma base biomédica generalista em que ontologias aparecem majoritariamente como ferramenta analítica, o JBMS tem como objeto central a própria semântica biomédica e a engenharia de ontologias, o que gera uma densidade de visualizações ontológicas estruturalmente superior.

V.3.3 Coleta manual e escolha por modelos de visão computacional

As imagens foram coletadas manualmente a partir dos 565 artigos selecionados no JBMS, resultando em 3.723 imagens candidatas. A coleta manual foi adotada como estratégia deliberada para garantir a qualidade e a rastreabilidade do *corpus*, permitindo verificar a integridade de cada imagem e descartar artefatos de compressão ou problemas de renderização antes da classificação.

A opção por modelos de linguagem com visão computacional, em vez de classificadores tradicionais como o *Random Forest* utilizado nos experimentos com dados sintéticos, decorre de uma limitação estrutural do *corpus* real: imagens de artigos científicos de ontologias biomédicas são extremamente heterogêneas em termos de estilo visual, resolução, densidade de nós, esquemas de cores e convenções gráficas. Enquanto nas imagens sintéticas geradas programaticamente com *NetworkX* e *Matplotlib* era possível extrair *features* visuais padronizadas e bem definidas — como número de nós, arestas, distribuição de cores e métricas de *layout* —, as imagens reais de artigos não permitem esse tipo de padronização sem um processo custoso e potencialmente impreciso de engenharia de

features. Modelos de visão computacional de grande escala processam a imagem diretamente, sem depender de *features* pré-definidas, o que os torna mais adequados para *corpora* heterogêneos como o utilizado nesta fase.

Adicionalmente, as imagens sintéticas foram reutilizadas nesta fase para validar o *framework* PCHRD computacionalmente: o modelo foi aplicado ao mesmo conjunto de 40 imagens previamente avaliado manualmente pela autora, e a concordância de 96,3% entre as classificações do modelo e a rotulagem manual confirmou a viabilidade da automatização da avaliação PCHRD em imagens com características visuais controláveis.

V.3.4 Classificação por modelos de visão: *Claude* e *GPT-4o-mini*

As 3.723 imagens foram submetidas a dois modelos de visão computacional para classificação binária em ONTOLOGIA ou NÃO_ONTOLOGIA: *Claude Haiku* 4.5 (*Anthropic*) e *GPT-4o-mini* (*OpenAI*). A escolha de dois modelos distintos seguiu a lógica de triangulação metodológica: comparar classificações de modelos com diferentes arquiteturas e critérios internos permite avaliar a robustez dos resultados, identificando casos de alta concordância — que aumentam a confiança na classificação — e casos divergentes — que revelam ambiguidades ontológicas genuínas nas imagens.

A concordância geral entre os dois modelos foi de 91,7% (3.419 de 3.728 imagens), com 304 casos divergentes. Desses, 256 (84,2%) corresponderam ao padrão *Claude*=NÃO_ONTOLOGIA / *GPT*=ONTOLOGIA, e 48 (15,8%) ao padrão inverso. O *Claude* identificou 651 ontologias (17,5% do *corpus*), enquanto o *GPT* identificou 859 (23,1%).

A análise das divergências revelou padrões sistemáticos de comportamento entre os modelos. O *Claude* adotou critérios mais estritos: exigiu a presença de uma visualização gráfica de hierarquia ontológica com relações semânticas explícitas como *subClassOf*, *is-a* ou *part-of*, e recusou imagens que, embora contivessem conteúdo ontológico, o apresentavam em formatos não gráficos — como consultas SPARQL, código RDF/Turtle, tabelas de propriedades ou fluxogramas de processo. O *GPT* demonstrou critério mais amplo, aceitando qualquer conteúdo que mencionasse ou utilizasse ontologias em seu contexto, independentemente da forma de representação visual. Essa diferença refletiu-se na confiança atribuída nas divergências: o *Claude* manteve confiança elevada (75–95%) em suas classificações divergentes, enquanto o *GPT* atribuiu confiança consistentemente baixa (9–10, em escala não percentual), sugerindo incerteza real nesse subconjunto.

A Tabela V.7 apresenta uma amostra representativa dos casos divergentes.

Tabela V.7: Amostra de casos divergentes entre *Claude Haiku* 4.5 e *GPT-4o-mini* na classificação ontologia/não-ontologia. Conf. = confiança (escala 0–100 para *Claude*; 0–10 para *GPT*).

Arquivo	**Claude**	**Conf.**	**Justificativa Claude**	**GPT**	**Conf.**
2041-1480-3-S2-S3.jpg	NÃO_ONT	85	Grafo de rede biológica/molecular. Relações *is-a*/*subClassOf* ausentes.	ONT	9
2041-1480-4-31.jpg	ONT	95	Ontologia biomédica com relações hierárquicas (*is_a*, *part_of*).	NÃO_ONT	9
2041-1480-4-S1-S1.jpg	NÃO_ONT	85	Rede de recursos sem relações ontológicas explícitas.	ONT	95
2041-1480-5-39_c.png	ONT	92	Grafo PORO com propriedades *is_a*, *has_part*, *adjacent_to*.	NÃO_ONT	9
s13326-015-0007-3_b.png	ONT	95	Interface NDF-RT com hierarquia *subClassOf*.	NÃO_ONT	9
s13326-015-0014-4.png	ONT	95	Hierarquia SBO com estrutura de classificação.	NÃO_ONT	9
s13326-015-0028-y_e.png	ONT	92	Relações semânticas OWL/RDF: *located_in*, *has_participant*.	NÃO_ONT	95
s13326-016-0060-6.png	ONT	95	Visualização OWL/RDF com classes hierárquicas (DSMZ *Medium*).	NÃO_ONT	95
s13326-024-00309-y.png	ONT	92	Grafo com relações semânticas (*same_as*, SNOMED CT).	NÃO_ONT	9
s13326-025-00345-2_l.png	ONT	85	Ontologia CCAO com relações *reports* e *not smoking*.	NÃO_ONT	9

V.3.5 Curadoria manual e decisão pelo modelo *Claude*

Após análise qualitativa dos casos divergentes, optou-se, por curadoria manual, pela adoção das classificações do *Claude* como base para as etapas subsequentes. Essa decisão fundamentou-se em três critérios: (i) os critérios do *Claude* foram considerados mais bem elaborados e alinhados com a definição formal de ontologia como estrutura de conhecimento com relações semânticas explícitas entre classes; (ii) a concordância geral do *Claude* foi mais alta e seu comportamento mais conservador e específico; e (iii) a confiança consistentemente baixa do *GPT* nas divergências (9–10) indica que o modelo operava com genuína incerteza nesse subconjunto, enfraquecendo a confiabilidade dessas classificações. O *corpus* final para avaliação de acessibilidade foi composto pelas 651 imagens identificadas como ONTOLOGIA pelo *Claude*.

V.3.6 Resultado: predominância de *layout* hierárquico

A análise das 651 imagens classificadas como ontologias revela predominância de visualizações com *layout* hierárquico — árvores taxonômicas, grafos direcionados com relações *is-a*/*subClassOf* e diagramas de herança conceitual. Esse padrão contrasta com a diversidade de *layouts* do *dataset* sintético e reflete as convenções gráficas da comunidade de *biomedical semantics*, que favorece representações que evidenciam a estrutura de classificação das ontologias. Esse resultado já emerge da própria coleta e constitui um achado descritivo relevante sobre como especialistas do campo comunicam graficamente o conhecimento ontológico.

Esse perfil tem implicações diretas para a avaliação PCHRD: o critério H (Hierarquia Clara) apresenta taxas de aprovação de 62,4% no *corpus* real contra 15% no sintético, precisamente porque

as imagens reais foram produzidas por especialistas que internalizaram a necessidade de expressar hierarquias de forma graficamente legível.

V.4 Fase 4: Análise do Raciocínio do Modelo via *Chain-of-Thought*

Para compreender como o modelo operacionalizava cada critério do *framework* PCHRD em relação ao raciocínio humano, adotou-se uma versão com *Chain-of-Thought* (CoT) do mesmo modelo. A técnica de CoT, conforme descrita por Wei et al. [2022] e sistematizada em um contexto de grafos do conhecimento em um trabalho de domínio especializado (tecnologia marinha) por Lin et al. [2026], transforma o paradigma de classificação direta em um paradigma *pergunta-raciocínio-resposta*: antes de emitir a classificação final, o modelo é instruído a explicitar seu processo de inferência, descrevendo sua definição operacional do critério para aquela imagem específica, o que observou concretamente e por que atribuiu o escore 0 ou 1.

A arquitetura dos *prompts* foi diretamente inspirada nas perguntas objetivas formuladas para a rotulagem humana (Tabela V.4), permitindo comparar não apenas as decisões finais, mas os percursos de inferência entre avaliador humano e modelo de visão.

Essa abordagem foi aplicada ao conjunto de 40 imagens sintéticas previamente avaliadas manualmente pela autora, permitindo comparar não apenas as classificações finais, mas as definições operacionais que o modelo construiu para cada critério. Os resultados revelaram divergências sistemáticas, especialmente nos critérios Perceptível (P) e Hierarquia Clara (H): o CoT reduziu a taxa de aprovação de P de 100% (classificação direta) para 72,5%, ao revelar que o modelo identificava barreiras de contraste em rótulos que havia ignorado na classificação simples. O critério H permaneceu instável em ambas as modalidades (12,5% com CoT), e o CoT evidenciou que o modelo exigia codificações visuais explícitas de hierarquia, enquanto a rotulagem manual aceitou estruturas radiais como hierarquia implícita suficiente.

Além disso, a análise com *Chain-of-Thought* evidenciou que o raciocínio explícito tornou o modelo mais restritivo. Como cada critério atendido recebeu 1 ponto, a pontuação média passou de **3,48 em 6 critérios possíveis** na classificação direta, equivalente a **58,0% dos critérios atendidos**, para **2,12 em 5 critérios possíveis** na análise com CoT, equivalente a **42,4% dos critérios atendidos**. A diferença entre os denominadores decorre da exclusão do critério **Robusto** na análise computacional, uma vez que sua avaliação depende de informações estruturais e semânticas não inferíveis de forma confiável apenas a partir da imagem estática. Na tarefa binária, o CoT classificou todas as 40 imagens sintéticas como não acessíveis, com confiança média de 0,90. Esse achado sugere que a classificação direta tende a subestimar barreiras de acessibilidade que o raciocínio articulado consegue identificar, com implicações metodológicas para o uso de modelos de visão como avaliadores automatizados de acessibilidade

V.5 Síntese Integrada dos Achados

Os resultados obtidos ao longo das quatro fases experimentais apontam que:

- visualizações de ontologias apresentam limites estruturais claros: para os parâmetros específicos utilizados, grafos rasterizados se tornam distinguíveis no intervalo entre 29 e 33 nós, acima do qual a legibilidade colapsa;
- modelos de aprendizado de máquina supervisionados podem prever acessibilidade visual com alta precisão quando os *datasets* são adequadamente balanceados, e inspeções visuais direcionadas constituem caminho mais eficaz do que rotulagens multicritério sobre amostras puramente aleatórias;
- há, combinatoriamente, mais formas de uma visualização ser inacessível do que acessível — o que explica o forte desbalanceamento observado em geração aleatória e reforça a necessidade de *design* intencional;
- critérios tradicionais de usabilidade são insuficientes para avaliar visualizações abstratas, sendo em grande parte considerados "não aplicáveis";
- soluções atuais de visualização não produzem imagens robustas para tecnologias assistivas;
- a acessibilidade visual não emerge de forma aleatória — requer planejamento, controle de parâmetros e intencionalidade projetual, inclusive na atribuição semântica das cores;
- o *corpus* real do JBMS revela predominância de *layouts* hierárquicos, refletindo convenções consolidadas da comunidade de *biomedical semantics*;
- modelos de visão computacional mostram-se viáveis como avaliadores automatizados de acessibilidade, com alta concordância entre si em tarefas estruturadas;
- a técnica de *Chain-of-Thought*, quando estruturada a partir das mesmas perguntas objetivas usadas pelo avaliador humano, torna o raciocínio do modelo mais restritivo e auditável, evidenciando barreiras perceptivas que a classificação direta subestima.

A análise quantitativa, qualitativa e experimental converge para a conclusão de que tornar visualizações de ontologias acessíveis a diversos públicos depende tanto de avanços metodológicos quanto de avanços tecnológicos, sobretudo no ecossistema de bibliotecas de visualização e na adoção de modelos de avaliação automatizada com raciocínio explícito.

Capítulo VI Conclusões e Trabalhos Futuros

Este capítulo apresenta as conclusões da pesquisa, evidenciando as contribuições teóricas, metodológicas e práticas decorrentes do desenvolvimento do *framework* PCHRD, do experimento computacional que integra visualização de ontologias biomédicas com aprendizado de máquina e da extensão do método a corpora reais e a modelos de visão computacional com raciocínio explícito. Também são discutidas as limitações do estudo e os caminhos promissores para continuidade da investigação.

VI.1 Considerações gerais

O objetivo central desta pesquisa foi propor, implementar e validar um método para avaliação e classificação da acessibilidade perceptiva em visualizações de ontologias biomédicas, integrando critérios derivados da teoria da visualização da informação, da acessibilidade digital e da ergonomia cognitiva com técnicas quantitativas de análise automática. A partir dessa proposição, buscou-se preencher lacunas identificadas na literatura, especialmente a ausência de critérios específicos para ontologias, a falta de *datasets* rotulados que permitissem a modelagem automatizada de acessibilidade e a escassez de estudos que auditem o raciocínio de modelos de visão computacional na avaliação de imagens científicas.

A trajetória metodológica incluiu seis fases complementares. As duas primeiras consistiram na seleção do objeto e na triangulação metodológica centrada em acessibilidade, comunicabilidade e usabilidade, aplicada ao BioPortal como estudo preliminar. Essas etapas geraram evidências exploratórias sobre fatores que comprometem a percepção visual em representações ontológicas e fundamentaram a necessidade de um modelo mais sistemático. A terceira fase — a **formalização do *framework* PCHRD** — partiu do *Chartability* [Elavsky et al., 2022] e adaptou-o ao contexto de visualizações estáticas de ontologias, preservando os critérios Perceptível, Compreensível e Robusto e incorporando três critérios específicos do domínio: Hierarquicamente Claro, Rotulado Efetivamente e Distinguível. A quarta fase envolveu a geração automatizada de milhares de visualizações, a anotação manual segundo o PCHRD — guiada por perguntas objetivas de inspeção — e o emprego de um modelo *Random Forest* em duas iterações complementares: a primeira como sondagem da prevalência de acessibilidade no espaço paramétrico, a segunda como prova de con-

ceito de que atributos visuais carregam sinal discriminativo quando há curadoria amostral dirigida pelo PCHRD. As fases finais estenderam o método a um corpus real extraído de artigos científicos do *PubMed Central* (PMC) e do *Journal of Biomedical Semantics* (JBMS), empregando modelos de visão computacional (*Claude Haiku* 4.5 e *GPT-4o-mini*) para classificar ontologias e, por fim, utilizaram a técnica de *Chain-of-Thought* (CoT) para inspecionar o raciocínio desses modelos na operacionalização de cada critério PCHRD.

Os resultados confirmam que o *framework* PCHRD é operacionalizável e apresenta coerência interna entre seus critérios. As iterações com *Random Forest* demonstraram que atributos gráficos e estruturais extraídos automaticamente carregam sinal discriminativo suficiente para refletir os critérios do PCHRD quando ambas as classes estão adequadamente representadas no *dataset*, evidenciando a viabilidade técnica da automação. A extensão a corpora reais mostrou que modelos de visão computacional podem operar como avaliadores automatizados de acessibilidade, com elevada concordância entre arquiteturas distintas (91,7%), e que o uso do CoT torna o raciocínio desses modelos mais restritivo e auditável, capaz de identificar barreiras perceptivas que a classificação direta subestima. Essa convergência entre percepção humana, classificação supervisionada e inferência multimodal reforça a validade teórica do *framework* e demonstra o potencial de abordagens híbridas para avaliação visual em escala.

Um achado epistemológico que atravessa todas as fases experimentais merece destaque: **há, combinatoriamente, mais formas de uma visualização ser inacessível do que acessível**. Enquanto a acessibilidade exige a satisfação simultânea de múltiplos critérios, a inacessibilidade pode decorrer da falha em qualquer um deles. Essa assimetria combinatória explica o forte desbalanceamento observado na geração aleatória de visualizações e reforça que a acessibilidade não emerge espontaneamente: ela exige *design* intencional, controle de parâmetros e curadoria. Esse princípio orientou tanto o redesenho amostral que viabilizou a segunda iteração do *Random Forest* quanto a interpretação dos resultados do CoT.

Além disso, o método implementado permite replicação e expansão. O *pipeline* computacional — que inclui carregamento das ontologias, extração de grafos, geração das imagens, extração dos atributos, classificação supervisionada e avaliação por modelos de visão — foi projetado de forma modular e já disponibilizado em repositório público[1] de acordo com os princípios da ciência aberta.

A planilha de rotulagem, que contém os julgamentos binários segundo o PCHRD, também será disponibilizada, conforme apresentado no Capítulo V, garantindo transparência total sobre o processo de anotação e facilitando auditorias ou extensões do experimento.

A pesquisa atinge, assim, nove contribuições principais:

1. apresenta um modelo perceptivo-cognitivo original (PCHRD), derivado e expandido a partir

[1] `https://drive.google.com/drive/folders/1uzzNLUjquBqwkB9-kp-cuKd2QFXwr6Wv`

do *Chartability*, mas adaptado às especificidades da visualização de ontologias, incorporando os critérios Hierarquicamente Claro, Rotulado Efetivamente e Distinguível;

2. formaliza um **conjunto de perguntas objetivas** associadas a cada critério do PCHRD, servindo tanto como instrumento de padronização da rotulagem humana quanto como arquitetura de *prompts* para os modelos de visão com CoT — constituindo uma ponte metodológica entre avaliação humana e automatizada;

3. produz um *dataset* sintético inédito, rotulado e estruturado, composto por milhares de imagens derivadas de ontologias biomédicas, potencialmente útil para futuros estudos de acessibilidade, *InfoVis* ou recomendação visual;

4. **posiciona o PCHRD em duplo papel** — como instrumento de avaliação dos critérios visuais e como instrumento de busca dirigida no espaço paramétrico —, evidenciando empiricamente a assimetria combinatória entre acessibilidade e inacessibilidade na geração paramétrica de visualizações;

5. demonstra experimentalmente que atributos visuais extraídos automaticamente carregam sinal discriminativo suficiente para diferenciar visualizações acessíveis das demais, *desde que* o *dataset* represente adequadamente ambas as classes;

6. estende o método a um *corpus* real de imagens extraídas de artigos científicos, mostrando que modelos de visão computacional são viáveis como avaliadores automatizados de acessibilidade em ambientes heterogêneos;

7. demonstra, por meio da técnica de *Chain-of-Thought*, que a explicitação do raciocínio torna os modelos mais restritivos e auditáveis na identificação de barreiras perceptivas, com implicações metodológicas relevantes para o uso de modelos multimodais em tarefas avaliativas;

8. identifica e documenta empiricamente a **assimetria combinatória** entre acessibilidade e inacessibilidade no espaço paramétrico de visualizações de ontologias, contribuição epistemológica que reposiciona a acessibilidade como compromisso de *design* em vez de propriedade emergente;

9. estabelece, de forma integrada, um percurso metodológico que une teoria, experimentação computacional, análise perceptual e modelagem estatística, contribuindo para o avanço epistemológico do campo.

VI.2 Limitações

Embora o método tenha se mostrado eficaz, algumas limitações foram identificadas e devem ser explicitadas.

Escopo ontológico. A primeira limitação diz respeito à utilização predominante da *Sickle Cell Disease Ontology* como estudo de caso nas Fases 1 a 4. Apesar de ser uma ontologia robusta e representativa, sua estrutura específica pode não refletir plenamente o espectro de complexidades presentes em outras ontologias biomédicas. A extensão realizada nas Fases 5 e 6, ao incorporar um *corpus* heterogêneo oriundo do JBMS, mitiga parcialmente essa limitação, mas uma expansão futura com outras ontologias de grande porte contribuiria para maior generalização dos resultados.

Rotulagem por avaliadora única e viés de comparação. A segunda limitação refere-se à rotulagem manual conduzida por uma única observadora. Mesmo seguindo critérios claros, definições operacionais e as perguntas objetivas descritas no Capítulo IV, as avaliações humanas estão sujeitas a variações interpretativas e não capturam plenamente nuances altamente subjetivas. Além disso, elementos como sobreposição real de rótulos, saturação cromática e distorções resultantes de *layouts* específicos são difíceis de quantificar, o que pode gerar discrepâncias entre percepção humana e classificação automatizada.

Particularmente relevante é o **viés de comparação** identificado durante a rotulagem — denominado, nesta pesquisa, "efeito exame de vista". Em um *dataset* majoritariamente composto por visualizações inadequadas, há tendência a classificar como aceitáveis as "menos piores", em uma espécie de calibração implícita entre imagens avaliadas em sequência. Neste trabalho, esse ônus foi admitido como custo metodológico intrínseco a experimentos sem participação de usuários adicionais; as estratégias para mitigá-lo em trabalhos futuros estão detalhadas na Seção VI.3.

Papel auxiliar do *Random Forest*. O *Random Forest* não foi empregado como entrega central da pesquisa, mas como instrumento auxiliar para sondar a prevalência de acessibilidade no espaço paramétrico (Iteração 1) e verificar se atributos visuais extraídos automaticamente carregam sinal discriminativo (Iteração 2). Sob esse desenho, métricas absolutas de desempenho preditivo são menos relevantes do que o comportamento qualitativo do modelo nas duas iterações. Trabalhos que pretendam construir um classificador de acessibilidade pronto para uso em produção precisarão de *datasets* substancialmente maiores, com múltiplos avaliadores e potencialmente outras arquiteturas, conforme detalhado na Seção VI.3.

Randomização cromática sem significado semântico. A geração do *Dataset Hemoglobin* adotou randomização de cores sem correspondência com categorias de nós, tipos de arestas ou

níveis hierárquicos. Isso retirou da codificação cromática sua função de portadora de significado, o que impactou diretamente o desempenho do critério Distinguível na rotulagem. A inspeção com o simulador *Coblis* documentou o impacto dessas paletas em usuários com deficiências de percepção de cor, mas não compensa a limitação estrutural do desenho experimental. Trabalhos futuros preverão randomização de cores únicas por categoria (nó, aresta, rótulo), preservando a função semântica da cor.

Possível redundância de imagens no *dataset*. Dada a grande quantidade de combinações paramétricas produzidas, reconhece-se que o *Dataset Hemoglobin* pode conter imagens visualmente redundantes entre si. Essa redundância não compromete os resultados aqui apresentados, mas constitui um ponto a ser tratado em futuras curadorias do conjunto.

Não generalização direta do limite de 29–33 nós. O achado de que subgrafos se tornam distinguíveis em um intervalo entre 29 e 33 nós é específico aos parâmetros utilizados (*layouts spring* e circular, tamanho de nós 300, arestas finas, bibliotecas *NetworkX* / *Matplotlib*). Embora ofereça uma referência prática para ontologias de porte similar à SCDO, não constitui regra geral. Estudos futuros podem variar sistematicamente os parâmetros para avaliar a existência de uma média generalizável.

Dependência de modelos proprietários. Por fim, o uso de modelos proprietários de terceiros (*Claude Haiku* 4.5 e *GPT-4o-mini*) introduz limitações relacionadas à reprodutibilidade a longo prazo, dado que versões dos modelos podem ser atualizadas, descontinuadas ou comportarem-se diferentemente em inferências futuras. Essa dependência é intrínseca ao estado da arte atual em modelos multimodais e deve ser considerada em trabalhos subsequentes.

VI.3 Trabalhos Futuros

Os resultados alcançados nesta pesquisa abrem caminho para uma série de desdobramentos. Entre os mais promissores estão:

(1) Expansão do PCHRD para critérios contínuos

A versão atual do *framework* utiliza critérios binários (sim/não). A adoção de escalas graduadas pode capturar variações perceptivas mais sutis e enriquecer a modelagem estatística, permitindo inclusive o uso de regressão para predição de níveis de acessibilidade em vez de classificação dicotômica.

(2) Rotulagem distribuída e mitigação do viés de comparação

Para mitigar o "efeito exame de vista" identificado na rotulagem, recomenda-se, em estudos posteriores:

- apresentar imagens em momentos distintos — por exemplo, uma imagem por dia por avaliador — reduzindo a calibração implícita entre imagens vizinhas;
- manter as perguntas objetivas do PCHRD como instrumento formal de inspeção, evitando inferências subjetivas;
- submeter cada imagem a pelo menos três avaliadores independentes, viabilizando análises formais de concordância (como *kappa* de Cohen ou *alpha* de Krippendorff).

Essas estratégias podem também ser aplicadas a experimentos com usuários finais para treinar modelos de aprendizado de máquina específicos para a classificação de visualizações acessíveis em ontologias biomédicas.

(3) Ampliação do *dataset* e diversificação de ontologias

Incorporar ontologias de distintos domínios e tamanhos permitiria validar o método em cenários mais variados e fortalecer a generalização dos resultados. O BioPortal, por sua diversidade e abrangência, oferece um acervo propício para essa expansão. Estudos de variação paramétrica também podem ajudar a verificar se o limite observado de 29–33 nós persiste em outras configurações visuais.

(4) Codificação cromática semanticamente significativa

Trabalhos futuros deverão substituir a randomização irrestrita de cores por randomização de cores *únicas* por categoria de nós, arestas e rótulos, restaurando a função semântica da codificação cromática. Essa mudança permitirá avaliar o critério Distinguível em sua plenitude e investigar o impacto da cor como portadora de significado na compreensão de ontologias.

(5) Aplicação de modelos de visão computacional *open-source*

A utilização de CNNs ou arquiteturas híbridas (como *Vision Transformers*) em versões *open-source* poderia ampliar a capacidade do modelo de capturar padrões visuais complexos com maior controle metodológico, reduzindo a dependência de APIs proprietárias e ampliando a reprodutibilidade a longo prazo.

(6) Desenvolvimento de um sistema de recomendação visual

A partir dos resultados obtidos, é possível desenhar um sistema capaz de recomendar *layouts* e parametrizações visuais que maximizem a acessibilidade para uma dada ontologia. Tal sistema atenderia uma carência importante identificada na literatura, conforme discutido no Capítulo III. Em paralelo, estudos de redução de dimensionalidade podem identificar quais parâmetros visuais são, de fato, decisivos para a acessibilidade — potencialmente fornecendo bases objetivas para *designers* de visualizações.

(7) Consolidação dos critérios incorporados ao *Chartability*

Os critérios incorporados ao PCHRD — Hierarquicamente Claro, Rotulado Efetivamente e Distinguível — foram validados no contexto desta dissertação, mas merecem consolidação em estudos independentes que avaliem sua pertinência em outros domínios de visualização estruturada, como grafos de conhecimento gerais, redes semânticas e taxonomias não-biomédicas.

(8) Reformulação e expansão do método de triangulação inicial

A triangulação metodológica inicial (acessibilidade, usabilidade, comunicabilidade) mostrou-se essencial para fundamentar o recorte final do estudo. Um aprofundamento dessa abordagem, incorporando outras heurísticas de IHC e avaliadores adicionais, poderia gerar um conjunto mais robusto de evidências perceptivas iniciais.

(9) Geração automática de legendas acessíveis

Combinando técnicas de aprendizado supervisionado e modelos generativos, seria possível desenvolver descrições automáticas que acompanhem cada visualização, ampliando a inclusão de pessoas com deficiência visual parcial ou total. Essa linha se conecta diretamente à lacuna do critério Robusto identificada nesta pesquisa: como as bibliotecas atuais (*NetworkX*, *Matplotlib*) e os visualizadores comuns não oferecem suporte nativo a texto alternativo, a geração automatizada desses descritores surge como caminho complementar — até que o ecossistema adote formatos estruturados como SVG por padrão.

(10) Aprofundamento do uso de *Chain-of-Thought* como ferramenta de auditoria

A aplicação do CoT demonstrou-se promissora para inspecionar o raciocínio de modelos de visão em tarefas avaliativas. Trabalhos futuros podem aprofundar essa linha explorando: variações de *prompts* (incluindo refinamentos das perguntas objetivas do PCHRD); comparação entre múltiplos

modelos; e estudos de concordância entre raciocínio automatizado e avaliadores humanos especialistas.

VI.4 Considerações finais

A presente pesquisa demonstra que a acessibilidade em visualização de ontologias biomédicas pode ser tratada por meio de uma abordagem computacional sistemática e quantitativa, sem desconsiderar os fundamentos perceptivos e cognitivos que orientam a experiência humana. Ao propor um método híbrido, ancorado em teoria e fortalecido por experimentos em dados sintéticos e reais, buscou-se contribuir para um campo ainda em desenvolvimento, mas de grande relevância para práticas científicas, educacionais e tecnológicas.

O *framework* PCHRD — operacionalizado por perguntas objetivas que conectam rotulagem humana e raciocínio de modelos de visão, e empregado em duplo papel como instrumento de avaliação e de busca dirigida no espaço paramétrico — aliado ao *dataset* gerado, à validação em *corpus* real e à auditoria do raciocínio dos modelos de visão, oferece uma base sólida para futuras pesquisas e aplicações. Reconhece-se, com clareza, que tornar visualizações acessíveis exige intencionalidade projetual: **há mais formas de ser inacessível do que de ser acessível**, e essa assimetria combinatória torna a acessibilidade um compromisso de *design*, não uma propriedade emergente da aleatoriedade.

Sua adoção pode fomentar a construção de sistemas mais inclusivos, promover a compreensão de visualizações científicas por públicos mais amplos e estimular o desenvolvimento de ferramentas orientadas pela acessibilidade e pela percepção humana. Assim, esta pesquisa não apenas propõe um método, mas também inaugura um percurso investigativo que pode ser expandido, refinado e explorado em profundidade por estudos futuros, tanto na dimensão perceptiva quanto na dimensão computacional da avaliação de acessibilidade em visualização da informação.

Referências

Adekile, A. et al. The sickle cell disease ontology: Enabling universal sickle cell-based knowledge representation. *Database*, 2019, 2019.

Arrieta, A. B. et al. Explainable artificial intelligence (xai): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible ai. *Information fusion*, 58:82–115, 2020.

Bastien, J. C. and Scapin, D. L. Preliminary findings on the effectiveness of ergonomic criteria for the evaluation of human-computer interfaces. In *INTERACT'93 and CHI'93 Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, pages 187–188, 1993.

Behrisch, M. et al. Quality metrics for information visualization. In *Computer graphics forum*, volume 37, pages 625–662. Wiley Online Library, 2018.

Betiol, A. H. and Faust, R. *Ergonomia e usabilidade*. Novatec, São Paulo, 2010.

Breiman, L. Random forests. *Machine learning*, 45(1):5–32, 2001.

Card, S. K., Mackinlay, J. D., and Shneiderman, B., editors. *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufmann, San Francisco, 1999.

Cardoso, D. d. A., Henriques, F. d. R., and Belloze, K. T. Ontology visualization in bioportal: Methodological triangulation for analyzing accessibility, communicability, and usability. In *Proceedings of the XXII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–11, 2023.

Carpendale, S. Evaluating information visualizations. In *Information visualization: Human-centered issues and perspectives*, pages 19–45. Springer, 2008.

Carvalho, L. P., dos Santos, M. A., de Souza, J. G. R., Prates, R. O., and Freire, A. P. Aplicação do método de inspeção semiótica mediado por leitores de tela ao site tudogostoso. *iSys-Revista Brasileira de Sistemas de Informação*, 2018.

Chaparro, A. and Chaparro, M. Applications of color in design for color-deficient users. *Ergonomics in Design*, 25(1):23–30, 2017.

Chi, E. H.-h. A taxonomy of visualization techniques using the data state reference model. In *IEEE Symposium on Information Visualization 2000. INFOVIS 2000. Proceedings*, pages 69–75. IEEE, 2000.

CYBIS, W. et al. Ergolist. disponível em:< http://www. labiutil. inf. ufsc. br/ergolist/>. *Acesso em*, 6, 2009.

de Castro Salgado, L. C. and de Souza, C. S. Commest-uma ferramenta de apoio ao método de avaliação de comunicabilidade. In *III Conferência Latino-Americana de Interação Humano-Computador*, 2007.

Deng, J., Dong, W., Socher, R., Li, L.-J., Li, K., and Fei-Fei, L. ImageNet: A large-scale hierarchical image database. In *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 248–255. IEEE, 2009.

Dias, M. d. R. Avaliação ergonômica da usabilidade de sistemas de gerenciamento e publicação de conteúdo: estudo de caso do sistema gutenberg aplicado no site da Faperj – Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

Dudáš, M., Lohmann, S., Svátek, V., and Pavlov, D. Ontology visualization methods and tools: a survey of the state of the art. *The Knowledge Engineering Review*, 33:e10, 2018.

Elavsky, F., Bennett, C., and Moritz, D. How accessible is my visualization? evaluating visualization accessibility with chartability. In *Computer graphics forum*, volume 41, pages 57–70. Wiley Online Library, 2022.

Everis Brasil. Pesquisa brasileira do uso de leitores de tela. `https://estudoinclusivo.com.br/pesquisa-ldt/resultados3`, 2022.

Ferreira, M. M. *Causas de baixa visão funcional e perfil dos usuários de um serviço de reabilitação visual no Estado de São Paulo*. PhD thesis, Universidade de São Paulo, 2021.

Freitas, F. L. G. Ontologias e a web semântica. *Comunicações em Informática*, 10(08), 2005.

Ghorbel, F., Ellouze, N., Métais, E., Hamdi, F., Gargouri, F., and Herradi, N. Memo graph: an ontology visualization tool for everyone. *Procedia Computer Science*, 96:265–274, 2016.

Gillis-Webber, F. and Keet, C. M. A survey of multilingual owl ontologies in bioportal. In *Proceedings of 13th International SWAT4HCLS Conference*, 2022.

Journal of Biomedical Semantics. Journal of biomedical semantics: Aims and scope. `https://link.springer.com/journal/13326`, 2026.

Katifori, A., Halatsis, C., Lepouras, G., Vassilakis, C., and Giannopoulou, E. Ontology visualization methods—a survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 39(4):10, 2007.

Keet, C. M. The african wildlife ontology tutorial ontologies. *Journal of Biomedical Semantics*, 11, 2020.

Leitão, P. Método de inspeção semiótica, 2013.

Lin, Y., Du, Z., Sun, X., Li, X., Liu, C., Zheng, X., Liu, E., Chen, M., Liu, X., Xuan, H., Luo, M., Wang, Y., Gong, Z., and Wang, R. Building a marine reasoning large model: a method based on structured chain-of-thought fine-tuning and knowledge graph. *Intelligent Marine Technology and Systems*, 4(1):4, 2026.

Longabaugh, W. J. Combing the hairball with biofabric: a new approach for visualization of large networks. *BMC bioinformatics*, 13(1):275, 2012.

Mazandu, G. K., Hotchkiss, J., Nembaware, V., Wonkam, A., and Mulder, N. The sickle cell disease ontology: Recent development and expansion of the universal sickle cell knowledge representation. *Database*, 2022, 2022.

Melo, A. C. A. U., Nascimento, A. V. d., and Melo, T. M. S. d. A usabilidade do portal de periódicos da capes em bibliotecas universitárias públicas do estado do ceará. *Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, 14(2), 2016.

Musen, M., Shah, N., Noy, N., Dai, B., Dorf, M., Griffith, N., Buntrock, J., Jonquet, C., Montegut, M., and Rubin, D. L. Bioportal: ontologies and data resources with the click of a mouse. In *AMIA Annu Symp Proc*, volume 6, pages 1223–1224, 2008.

Netto, C. M., de Oliveira Lima, G. A. B., and Junior, I. P. Modelos de visualização de informação para ontologias de domínio. In *XVII Encontro Nacional de Pesquisa em Ciência da Informação*, 2016.

Netto, C. M. and Lima, G. Â. Visualização de ontologias: estudos e perspectivas. *Informação & Sociedade*, 27(3), 2017.

Nielsen, J. *Usability engineering*. Morgan Kaufmann, 1994.

Nobre, C., Meyer, M., Streit, M., and Lex, A. The state of the art in visualizing multivariate networks. In *Computer Graphics Forum*, volume 38, pages 807–832. Wiley Online Library, 2019.

Pang, P. C.-I., Biuk-Aghai, R. P., Fong, S., and Si, Y.-W. An experimental comparison of map-like visualisations and treemaps. *arXiv preprint arXiv:1909.09351*, 2019.

Plaisant, C. Information visualization and the challenge of universal usability. In *Exploring geovisualization*, pages 53–82. Elsevier, 2005.

Podo, L., Prenkaj, B., and Velardi, P. Agnostic visual recommendation systems: Open challenges and future directions. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 31(3):1902–1917, 2024.

Prates, R. O. and Barbosa, S. D. J. Introdução à teoria e prática da interação humano computador fundamentada na engenharia semiótica. *Atualizações em informática*, pages 263–326, 2007.

Prates, R. O., De Souza, C. S., and Barbosa, S. D. Methods and tools: a method for evaluating the communicability of user interfaces. *interactions*, 7(1):31–38, 2000.

Quadri, G. J., Wang, A. Z., Wang, Z., Adorno, J., Rosen, P., and Szafir, D. A. Do you see what i see? a qualitative study eliciting high-level visualization comprehension. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–26, 2024.

Santaella, L. *O que é semiótica*. Brasiliense, 2017.

Sevilla, J., Herrera, G., Martínez, B., and Alcantud, F. Web accessibility for individuals with cognitive deficits: A comparative study between an existing commercial web and its cognitively accessible equivalent. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 14(3):12, 2007.

Shneiderman, B. and Aris, A. Network visualization by semantic substrates. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 12(5):733–740, 2006.

Telea, A. *Data Visualization: Principles and Practice, Second Edition*. CRC Press, 2014.

Ware, C. *Information Visualization: Perception for Design*. Morgan Kaufmann, Waltham, MA, 3rd edition, 2012.

Washington, N. and Lewis, S. Ontologies: Scientific data sharing made easy. *Nature Education*, 1(3):5, 2008.

Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., Bosma, M., Ichter, B., Xia, F., Chi, E., Le, Q., and Zhou, D. Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 35, pages 24824–24837, 2022.

Whetzel, P. L., Noy, N. F., Shah, N. H., Alexander, P. R., Nyulas, C., Tudorache, T., and Musen, M. A. Bioportal: enhanced functionality via new web services from the national center for biomedical ontology to access and use ontologies in software applications. *Nucleic acids research*, 39(suppl_2):W541–W545, 2011.

World Wide Web Consortium et al. *Cartilha de Acessibilidade na Web - W3C Brasil*. W3C Brasil, 2013.

Apêndice A Dataset rotulado utilizado na avaliação

Este apêndice apresenta o conjunto de combinações visuais rotuladas utilizado como referência de consulta. A Tabela A.1 reúne, para cada combinação, a miniatura correspondente, os principais parâmetros de renderização e os rótulos atribuídos.

.

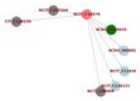
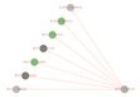
Tabela A.1: Dataset rotulado com imagens de referência e rótulos atribuídos.

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
2.1		**layout:** random_layout; **cor nós:** maroon; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** indianred; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** saddlebrown; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0
40.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** darkgray; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** darkred; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** dimgray; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	1	0	1	1	0	0
83.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** coral; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** darkgrey; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** darkred; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0

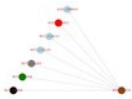
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
94.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** lightsalmon; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** darksalmon; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** darkgrey; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	0	0
95.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** gray; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** lightcoral; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** saddlebrown; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	1	0	1	1	0	0
119.1		**layout:** random_layout; **cor nós:** grey; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** dimgrey; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** lightgray; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	1	0	0
137.1		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** brown; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** silver; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** darksalmon; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0
140.1		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** mistyrose; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** grey; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** lightgrey; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	1	0	0
144.1		**layout:** shell_layout; **cor nós:** lightcoral; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** silver; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** darksalmon; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0

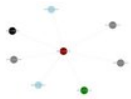
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
165.1		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** lightcoral; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** darkred; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** grey; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	1	0	0
175.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** dimgrey; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** indianred; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** coral; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	1	0	1	1	0	0
185.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** indianred; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** silver; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** mistyrose; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
187.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** gray; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** gray; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** brown; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
208.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** maroon; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** chocolate; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** brown; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0
215.1		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** sienna; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** chocolate; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** gainsboro; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0

Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
257.1		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** lightgrey; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** chocolate; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** darksalmon; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
285.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** saddlebrown; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** lightgray; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** maroon; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
367.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** darkgrey; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** dimgrey; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** indianred; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	1	0	1	0	0	0
385.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** saddlebrown; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** brown; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** silver; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0
391.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** darkgrey; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** darksalmon; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** darkgray; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.5	0	1	0	0	0	0	0
400.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** lightgrey; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** lightgray; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** brown; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0

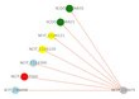
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
407.1		**layout:** circular_layout; **cor nós:** lightsalmon; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** sienna; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** grey; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
412.1		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** lightgray; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** darksalmon; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** firebrick; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	0	0
421.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** maroon; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** darkgrey; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** gainsboro; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0
428.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** mistyrose; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** grey; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** dimgrey; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
439.1		**layout:** circular_layout; **cor nós:** dimgray; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** gainsboro; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** indianred; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0
444.1		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** indianred; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** lightgrey; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** indianred; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0

Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
455.1		**layout:** shell_layout; **cor nós:** coral; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** brown; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** light-grey; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0
464.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** lightcoral; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** lightgrey; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** indianred; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
467.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** firebrick; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** darkgrey; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** sienna; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0
476.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** gray; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** lightsalmon; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** saddlebrown; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0
522.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** dimgrey; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** dimgray; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** rosy-brown; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0
531.1		**layout:** random_layout; **cor nós:** maroon; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** darkred; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** dimgray; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0

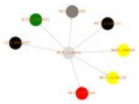
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
563.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** gray; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** darkgray; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** darkgray; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0
606.1		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** dimgrey; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** gray; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** orangered; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
616.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** dimgray; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** mistyrose; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** rosybrown; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0
617.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** gainsboro; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** orangered; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** darksalmon; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
629.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** silver; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** dimgrey; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** darksalmon; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
640.1		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** orangered; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** coral; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** darkgrey; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0

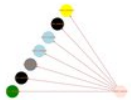
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
641.1		**layout:** circular_layout; **cor nós:** chocolate; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** dimgrey; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** firebrick; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
651.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** mistyrose; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** indianred; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** sienna; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
652.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** darkred; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** indianred; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** rosybrown; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
682.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** lightcoral; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** silver; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** gainsboro; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
716.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** rosybrown; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** indianred; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** darkred; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	1	0	0
718.1		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** brown; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** maroon; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** chocolate; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	1	1	1

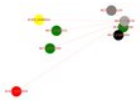
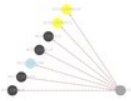
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
727.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** rosybrown; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** orangered; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** silver; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
733.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** lightgrey; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** darksalmon; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** silver; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
748.1		**layout:** circular_layout; **cor nós:** orangered; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** coral; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** saddlebrown; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
760.1		**layout:** random_layout; **cor nós:** sienna; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** gray; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** grey; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0
797.1		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** gainsboro; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** chocolate; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** grey; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
810.1		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** maroon; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** gainsboro; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** darkgrey; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0

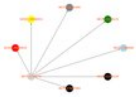
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
816.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** mistyrose; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** chocolate; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** darkred; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
825.1		**layout:** circular_layout; **cor nós:** sienna; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** brown; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** indianred; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
840.1		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** lightsalmon; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** lightgray; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** orangered; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0
854.1		**layout:** circular_layout; **cor nós:** dimgrey; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** dimgray; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** lightsalmon; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	1	0
871.1		**layout:** shell_layout; **cor nós:** mistyrose; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** gainsboro; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** coral; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0
906.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** silver; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** lightsalmon; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** firebrick; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0

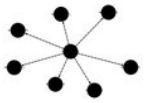
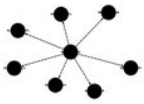
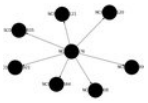
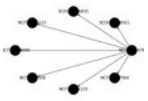
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
914.1		**layout:** random_layout; **cor nós:** darkgray; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** indianred; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** mistyrose; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
919.1		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** chocolate; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** lightgrey; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** lightgrey; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0
927.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** gray; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** darkgray; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** rosybrown; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
937.1		**layout:** random_layout; **cor nós:** mistyrose; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** gray; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** silver; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
941.1		**layout:** random_layout; **cor nós:** rosybrown; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 16; **cor fonte:** brown; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** darksalmon; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	0	0	0	0
966.1		**layout:** planar_layout; **cor nós:** chocolate; **fundo:** white; **tam. nós:** 3000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** silver; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** saddlebrown; **larg. arestas:** 3; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0

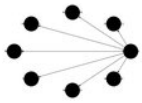
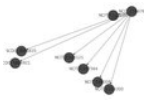
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
981.1		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** darksalmon; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** coral; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** coral; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
988.1		**layout:** spring_layout; **cor nós:** gainsboro; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.5; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** lightsalmon; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** coral; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 0.5	0	0	0	1	0	0	0
990.1		**layout:** circular_layout; **cor nós:** lightgray; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** coral; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** dimgray; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dotted; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	1	0	0
35.2		**layout:** spring_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	1	0
74.2		**layout:** spring_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
101.2		**layout:** spring_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	0	0

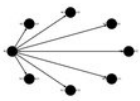
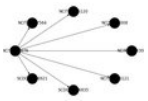
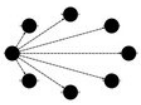
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
104.2		**layout:** spring_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0
112.2		**layout:** spring_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0
116.2		**layout:** spring_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0
125.2		**layout:** spring_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	1	1	1
167.2		**layout:** circular_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	0	0
178.2		**layout:** circular_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0

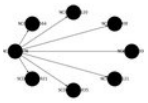
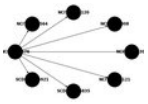
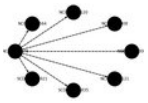
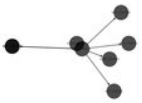
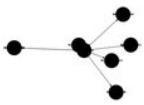
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
228.2		**layout:** circular_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0
243.2		**layout:** circular_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	1	0
257.2		**layout:** random_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
271.2		**layout:** random_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	0	1	0	0
303.2		**layout:** random_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	0	1	0	0
307.2		**layout:** random_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0

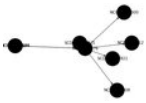
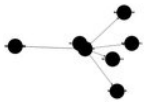
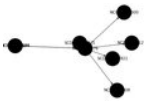
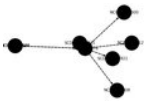
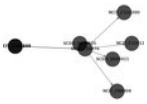
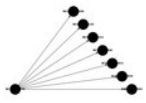
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
325.2		**layout:** random_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
327.2		**layout:** random_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
361.2		**layout:** random_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	1	0	0
422.2		**layout:** shell_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
436.2		**layout:** shell_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	1	0	1	0	0	0
456.2		**layout:** shell_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0

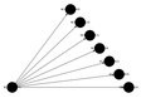
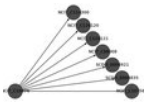
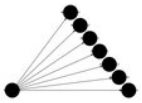
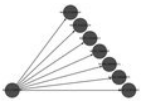
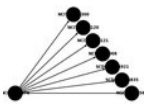
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
466.2		**layout:** shell_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
474.2		**layout:** shell_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
493.2		**layout:** shell_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	1	0	0
504.2		**layout:** shell_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
581.2		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
586.2		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0

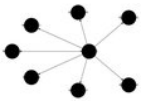
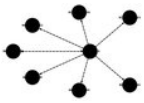
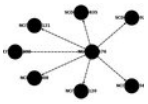
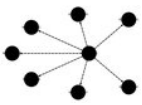
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
594.2		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
620.2		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
626.2		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
632.2		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	0	0	0	0
633.2		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	0	0	0	0
652.2		**layout:** planar_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0

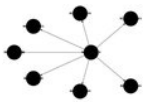
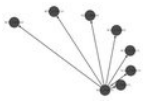
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
676.2		**layout:** planar_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
733.2		**layout:** planar_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
738.2		**layout:** planar_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
749.2		**layout:** planar_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	0	0	1	0	0	0
766.2		**layout:** planar_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
777.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	1	0

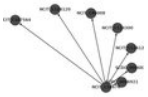
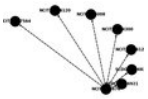
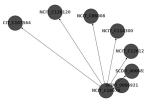
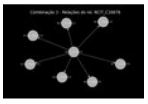
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
789.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	0	0
825.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	1	0	1	0	1	0
836.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	0	0	1	0	0	0
848.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
864.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
872.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0

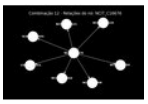
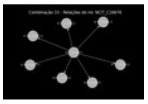
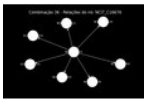
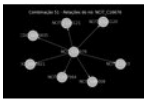
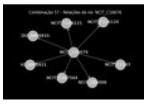
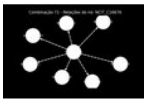
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
876.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
879.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
887.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
895.2		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
901.2		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
909.2		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

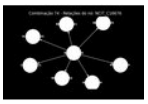
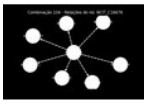
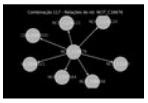
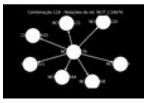
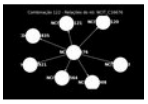
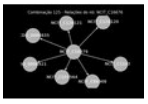
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
957.2		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
960.2		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
975.2		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
987.2		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
1017.2		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** black; **fundo:** white; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** black; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** black; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
3.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

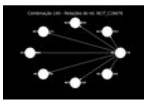
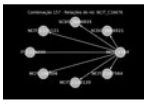
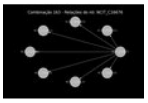
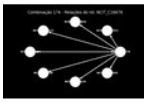
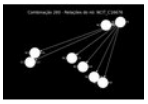
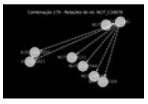
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
12.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
33.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
36.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
51.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
57.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
72.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0

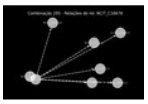
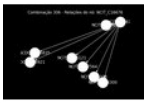
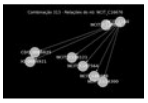
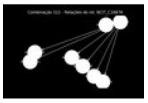
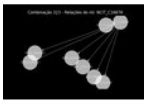
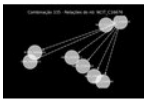
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
74.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
104.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
117.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
118.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
122.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
125.3		**layout:** spring_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

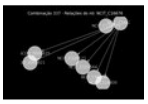
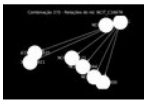
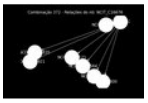
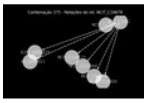
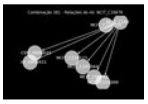
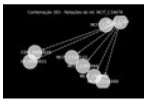
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
140.3		**layout:** circular_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
157.3		**layout:** circular_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
163.3		**layout:** circular_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
174.3		**layout:** circular_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
260.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
279.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

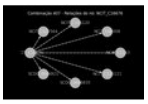
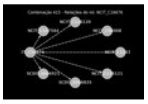
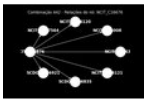
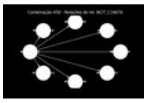
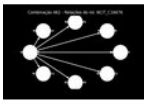
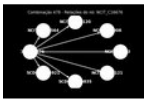
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
295.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
306.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
313.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
322.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
323.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
335.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

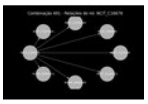
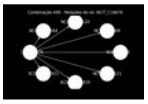
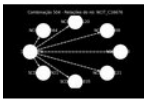
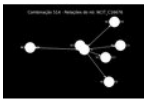
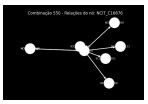
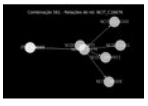
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
337.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
370.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
372.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
375.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
381.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
383.3		**layout:** random_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

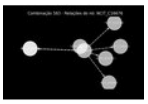
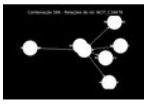
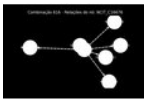
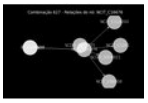
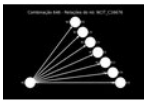
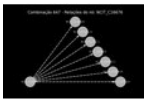
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
407.3		**layout:** shell_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
415.3		**layout:** shell_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
442.3		**layout:** shell_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
458.3		**layout:** shell_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
462.3		**layout:** shell_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
478.3		**layout:** shell_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0

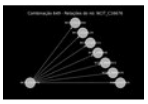
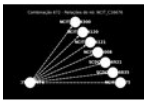
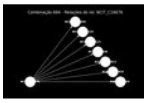
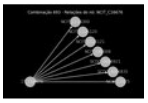
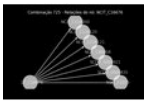
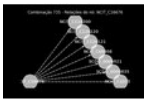
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
491.3		**layout:** shell_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
498.3		**layout:** shell_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
504.3		**layout:** shell_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
514.3		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
550.3		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
561.3		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

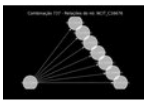
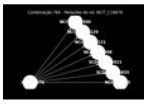
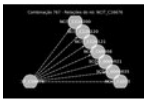
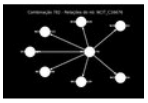
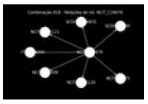
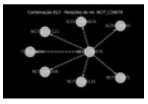
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
583.3		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
586.3		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
616.3		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
627.3		**layout:** spectral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
646.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
647.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

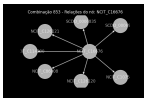
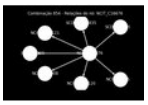
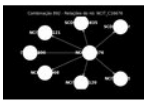
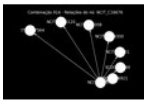
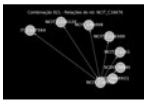
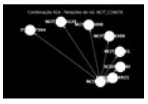
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
649.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
672.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
684.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
693.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
725.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
735.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

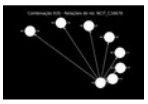
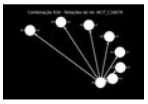
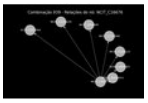
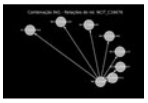
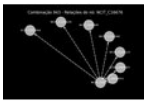
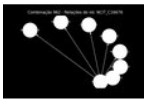
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
737.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
764.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
767.3		**layout:** planar_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
782.3		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
818.3		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
823.3		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0

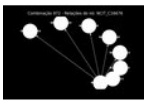
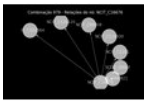
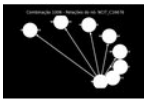
Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
853.3		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
854.3		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
892.3		**layout:** kamada_kawai_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
914.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
921.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
924.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0

Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
930.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
934.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
939.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
941.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
943.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 1000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
962.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0

Continua na próxima página

ID	Imagem	Parâmetros visuais	Perceptível	Compreensível	Robusto	Hierarquia clara	Rotulado	Distinguível	Acessível
972.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0
979.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 0.7; **tam. fonte:** 12; **cor fonte:** white; **peso fonte:** normal; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 1; **estilo arestas:** dashed; **alpha arestas:** 0.7	0	—	0	—	—	—	0
1006.3		**layout:** spiral_layout; **cor nós:** white; **fundo:** black; **tam. nós:** 2000; **alpha nós:** 1; **tam. fonte:** 8; **cor fonte:** white; **peso fonte:** bold; **cor arestas:** white; **larg. arestas:** 2; **estilo arestas:** solid; **alpha arestas:** 1	0	—	0	—	—	—	0

CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE DISSERTAÇÕES E TESES EM FORMATO ELETRÔNICO (ON-LINE)

Secretaria dos Programas de Pós-Graduação *Stricto Sensu*

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO/CURSO

Programa de Pós-Graduação em: Ciência da Computação	Mestrado (X)
	Doutorado ( )

DADOS PESSOAIS DO ALUNO AUTOR

Nome: Daiane de Ascenção Cardoso					
Identidade: 485702885		CPF: 401.743.098-80		E-mail: daiane.ascencao@gmail.com	
Telefones	Residencial:	Comercial:		Celular: (21) 99173-6318	
Endereço	Rua/Av: Rua Pedro de Carvalho		Nº: 505	Complemento: casa 02	
	Bairro Méier	Cidade: Rio de Janeiro	UF: RJ	CEP: 20723-230	País: Brasil

NATUREZA DA OBRA: [X] Dissertação de Mestrado [ ] Tese de Doutorado

TÍTULO DA OBRA: Método para Avaliação da Acessibilidade em Visualizações de Ontologias Biomédicas

(SELECIONAR SOMENTE UMA OPÇÃO)

1 [X] **AUTORIZO** ao Centro Federal Tecnológico Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ a reproduzir, inclusive em outro formato ou mídia e através de armazenamento permanente ou temporário, bem como a publicar na rede mundial de computadores (Internet), na Biblioteca virtual do CEFET/RJ ou de outros Bancos Públicos de Dissertações e Teses, entendendo-se os termos "reproduzir" e "publicar" conforme definições dos incisos VI e I, respectivamente, do artigo 5º da Lei 9610/98 de 10/02/1998, a obra acima mencionada, sem que me seja devido pagamento a título de direitos autorais, desde que a reprodução e/ou publicação tenham a finalidade exclusiva de uso por quem a consulta, e a título de divulgação da produção acadêmica gerada pela Instituição, a partir desta data, e até que, de minha parte, solicite expressamente o cancelamento da presente autorização.

2 [ ] **NÃO AUTORIZO** a disponibilização completa, on-line.

Motivo:

[ ] Exigência de periódico para não divulgação até a publicação (**exige justificativa, informe o periódico**)
[ ] Não envio por exigência contratual (**exige justificativa, informe nº da patente**)
[ ] Outro (**exige justificativa**)

Justificativa:

Rio de Janeiro, 20 de junho de 2026.

Assinatura do Autor: DocuSigned by: Daiane A. Cardoso 0DEDC59E73EB404...

gov.br Documento assinado digitalmente
KELE TEIXEIRA BELLOZE
Data: 24/06/2026 17:43:11-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Ciência do Orientador: Kele Teixeira Belloze _____
(NOME) (ASSINATURA)