



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
COLEGIADO DO CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Carolina de Freitas Manso

UXON: Um Sistema Baseado em Ontologias para Avaliação da Experiência de Usuário em Sistemas Imersivos

Vitória, ES

2022

Carolina de Freitas Manso

UXON: Um Sistema Baseado em Ontologias para Avaliação da Experiência de Usuário em Sistemas Imersivos

Monografia apresentada ao Curso de Ciência da Computação do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

Centro Tecnológico

Colegiado do Curso de Ciência da Computação

Orientadora: Monalessa Perini Barcellos

Coorientadora: Simone Dornelas Costa

Vitória, ES

2022

Carolina de Freitas Manso

UXON: Um Sistema Baseado em Ontologias para Avaliação da Experiência de Usuário em Sistemas Imersivos/ Carolina de Freitas Manso. – Vitória, ES, 2022-
60 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientadora: Monalessa Perini Barcellos

Monografia (PG) – Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Centro Tecnológico
Colegiado do Curso de Ciência da Computação, 2022.

1. Experiência do usuário. 2. Sistemas interativos. 1. Avaliação de IHC. 2. Ontologias. I. Manso, Carolina de Freitas. II. Universidade Federal do Espírito Santo. IV. UXON: Um Sistema Baseado em Ontologias para Avaliação da Experiência de Usuário em Sistemas Imersivos

CDU 02:141:005.7

Carolina de Freitas Manso

UXON: Um Sistema Baseado em Ontologias para Avaliação da Experiência de Usuário em Sistemas Imersivos

Monografia apresentada ao Curso de Ciência da Computação do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Trabalho aprovado. Vitória, ES, 23 de março de 2022:

Monalessa Perini Barcellos
Orientadora

Vítor Estêvão Silva Souza
Universidade Federal do Espírito Santo

Murillo Vasconcelos H. B. Castro
Universidade Federal do Espírito Santo

Vitória, ES
2022

Agradecimentos

À minha coorientadora, Simone, por todo suporte, paciência, motivação e dedicação ao longo desse trabalho. À minha orientadora Monalessa, pela oportunidade e incentivo.

Aos professores do departamento de informática, por todo o conhecimento que me proporcionaram.

Aos meus colegas do NEMO, por terem feito uma parte essencial na minha vida acadêmica e acabaram se tornando grandes amigos meus.

À minha mãe, por ter sido minha melhor amiga, sempre ouvindo meus desabafos e me fazendo nunca desistir.

À minha família, por todo amor, apoio, força e carinho que sempre me deram e que tornaram tudo isso possível.

À minha namorada, por toda compreensão, apoio incondicional e motivação para que eu tenha chegado até aqui.

Aos meus melhores amigos, por sempre estarem presentes, me fazendo feliz e tornando tudo mais leve.

Resumo

Com o avanço tecnológico e o conseqüente aumento da quantidade de sistemas interativos propostos e disponibilizados para uso, surge cada vez mais a necessidade desses sistemas investirem em usabilidade e em promoverem experiências envolventes aos usuários. Para alcançar tais objetivos, os sistemas interativos devem atender certos critérios de qualidade. O processo de avaliação de sistemas interativos tem enfoque em garantir que o sistema atenda esses critérios. O fenômeno de interação humano-computador (IHC) e a avaliação de IHC são alguns dos aspectos tratados na Human-Computer Interaction Ontology Network (HCI-ON), que está sendo proposta no contexto da tese de doutorado da coorientadora deste trabalho e visa fornecer uma conceituação abrangente e consistente para representar um corpo de conhecimento em IHC e apoiar soluções nesse domínio. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo produzir uma solução baseada em ontologias para apoiar o processo de avaliação de IHC em sistemas interativos. A solução foi desenvolvida como uma aplicação web chamada UXON (User eXperience Ontology Network-based system) para auxiliar a visualização de dados coletados para métricas de interatividade e comportamento em um sistema interativo imersivo de composição musical, o Compomus. Os dados coletados são apresentados de modo a facilitar a visualização dos resultados e, conseqüentemente, a avaliação da experiência do usuário quando utiliza o Compomus. HCI-ON foi utilizada como base para o desenvolvimento de UXON. Um extrato de HCI-ON foi utilizado na modelagem conceitual de UXON e também foi implementado como uma ontologia operacional para instanciar e fazer consultas sobre os dados inseridos no sistema. Uma versão inicial de UXON foi projetada, desenvolvida e disponibilizada para uso de pesquisadores do laboratório USES da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), que consideraram a aplicação útil. A elaboração desse trabalho proporcionou à autora uma experiência de aprendizagem e agregou conhecimento em diversos domínios, além de evidenciar a trajetória de estudo realizada durante o curso de graduação em Ciência da Computação.

Palavras-chaves: Experiência do usuário. Sistemas interativos. Avaliação de IHC. Ontologia

Lista de ilustrações

| | |
|---|----|
| Figura 1 – HCI-ON current version (COSTA, 2021). | 19 |
| Figura 2 – Extrato da HCI-ON a ser utilizado neste trabalho (COSTA, 2021). . . | 20 |
| Figura 3 – Recorte de um arquivo de log de interação gerado pelo Compomus (MARQUES et al., 2020). | 26 |
| Figura 4 – Diagrama de Casos de Uso da UXON. | 31 |
| Figura 5 – Modelo Conceitual da UXON, criado com base em um extrato de HCI-ON | 33 |
| Figura 6 – Modelo conceitual de UXON na ferramenta Protegé | 35 |
| Figura 7 – Exemplo de classes da ontologia operacional | 35 |
| Figura 8 – <i>Object Property: is_measured_by</i> | 36 |
| Figura 9 – <i>Data Property: mt_measured_value.</i> | 36 |
| Figura 10 – Arquitetura de UXON | 37 |
| Figura 11 – Página inicial | 39 |
| Figura 12 – Página <i>Measured Values</i> - Tabela com valores calculados para as métricas | 40 |
| Figura 13 – Página <i>Measured Values</i> - Gráficos com valores calculados para as métricas | 41 |
| Figura 14 – Página <i>Measured Values</i> - Gráficos com ranking de participantes e sons | 42 |
| Figura 15 – Página <i>Measured Values</i> - Gráficos de sons emitidos por participante . | 43 |
| Figura 16 – Página <i>Measured Values</i> - Gráficos interativos de sons emitidos por participante | 44 |
| Figura 17 – Página <i>Measured Values</i> - Comentário do especialista | 45 |
| Figura 18 – Página <i>Defined Queries.</i> | 46 |
| Figura 19 – Página <i>Defined Queries</i> - Primeira consulta definida. | 47 |
| Figura 20 – Página <i>Defined Queries</i> - Gráfico da primeira consulta definida. | 48 |
| Figura 21 – Página <i>Defined Queries</i> - Segunda consulta definida. | 49 |
| Figura 22 – Página <i>Defined Queries</i> - Gráfico da segunda consulta definida. | 50 |
| Figura 23 – Página <i>Custom Queries.</i> | 51 |
| Figura 24 – Página <i>Custom Queries</i> - Tabela da primeira consulta personalizada. . | 52 |
| Figura 25 – Página <i>Custom Queries</i> - Tabela da segunda consulta personalizada. . | 53 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Requisitos Funcionais Identificados para a UXON. | 28 |
| Tabela 2 – Objetivos e sua situação na conclusão da monografia | 55 |

Lista de abreviaturas e siglas

| | |
|--------|--|
| CSS | Cascading Style Sheets |
| ECMA | European Computer Manufacturers Association |
| HCI-ON | Human-Computer Interaction Ontology Network |
| HCIEO | Human-Computer Interaction Evaluation Ontology |
| HCIO | Human-Computer Interaction Ontology |
| HTML | HyperText Markup Language |
| IHC | Interação Humano-Computador |
| MVP | Minimum Viable Product |
| NEMO | Núcleo de Estudos em Modelagem Conceitual e Ontologias |
| OBA | Ontology-based architectures |
| ODD | Ontology-driven development |
| OEA | Ontology-enabled architectures |
| OED | Ontology-enabled development |
| OWL | Ontology Web Language |
| PDF | Portable Document Format |
| PNG | Portable Network Graphics |
| RDF | Resource Description Framework |
| SPARQL | SPARQL Protocol and RDF Query Language |
| SQL | Standard Query Language |
| UFAM | Universidade Federal do Amazonas |
| UFO | Unified Foundational Ontology |
| UML | Unified Modeling Language |
| USES | Usability and Software Engineering Research Group |

| | |
|------|------------------------------|
| UX | User Experience |
| W3C | World Wide Web Consortium |
| WSGI | Web Server Gateway Interface |

Sumário

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | Motivação e Justificativa | 11 |
| 1.2 | Objetivos | 13 |
| 1.3 | Método de Desenvolvimento do Trabalho | 13 |
| 1.4 | Organização da Monografia | 14 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO E TECNOLOGIAS UTILIZADAS | 15 |
| 2.1 | Interação Humano-Computador | 15 |
| 2.2 | Ontologias | 17 |
| 2.3 | Desenvolvimento de Software orientado a Ontologias | 21 |
| 2.4 | Tecnologias Envolvidas neste Trabalho | 21 |
| 2.5 | Considerações Finais do Capítulo | 24 |
| 3 | DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA UXON | 25 |
| 3.1 | Requisitos e Modelagem Conceitual | 25 |
| 3.1.1 | Minimundo | 25 |
| 3.1.2 | Propósito do sistema | 27 |
| 3.1.3 | Requisitos | 28 |
| 3.1.4 | Casos de Uso | 30 |
| 3.1.5 | Modelagem Conceitual | 32 |
| 3.2 | Projeto de Sistema | 34 |
| 3.2.1 | Ontologia Operacional | 35 |
| 3.2.2 | Arquitetura de Software | 36 |
| 3.2.2.1 | <i>Back-end</i> | 37 |
| 3.2.2.2 | <i>Front-end</i> | 38 |
| 3.3 | O Sistema UXON | 39 |
| 3.4 | Considerações Finais do Capítulo | 53 |
| 4 | CONCLUSÃO | 54 |
| 4.1 | Conclusões | 54 |
| 4.2 | Trabalhos Futuros | 57 |
| | REFERÊNCIAS | 58 |

1 Introdução

Este capítulo apresenta uma breve introdução ao tema do trabalho, seus objetivos, histórico do desenvolvimento e a organização deste documento.

1.1 Motivação e Justificativa

Interação Humano-Computador (IHC) é uma área de conhecimento multidisciplinar com o objetivo de manter o conceito de usabilidade sempre em evolução e o compromisso de valorizar as ações humanas e a experiência do usuário como o principal impulsionador do desenvolvimento de sistemas interativos (CARROLL, 2014). IHC incentiva o estudo da usabilidade com o objetivo de estudar o impacto que a tecnologia tem na vida dos usuários e desenvolver sistemas interativos que as pessoas terão interesse e facilidade de usar (CARROLL, 1997).

De acordo com Barbosa et al. (2021) sistemas interativos computacionais são sistemas constituídos por elementos de hardware e software e meios de comunicação construídos para relacionar-se com pessoas. Com o desenvolvimento acelerado da tecnologia, esses sistemas têm sido foco de interesse, pois cada vez mais surge a necessidade desses sistemas serem intuitivos, responsivos, adaptáveis aos usuários e personalizáveis, além de serem capazes de se conectar a ambientes e outras aplicações inteligentes (CARMAGNOLA; CENA; GENA, 2011). Antigamente os sistemas interativos tinham como principal objetivo disponibilizar funcionalidades úteis para a resolução de algum problema. Atualmente, além disso, eles visam proporcionar maior usabilidade e experiências positivas e envolventes para os usuários (RUSSO et al., 2015).

Enquanto a usabilidade é definida como a capacidade do usuário resolver um problema de forma eficiente utilizando o sistema, a experiência do usuário tem uma definição mais abrangente, analisando a interação do usuário por completo e levando em consideração também as emoções, sentimentos e impressões que esta interação causou no usuário (ALBERT; TULLIS, 2013). Portanto, cada vez mais os usuários têm expectativas maiores para os sistemas do que somente resolver tarefas de forma fácil e eficiente. Eles buscam também vivenciar experiências mais envolventes e agradáveis (PREECE; SHARP; ROGERS, 2019). Na IHC, tanto o processo de design quanto o de avaliação de sistemas interativos computacionais enfatizam o objetivo de buscar sempre uma melhor experiência para o usuário e o atendimento de suas demandas, necessidades e preferências (CARROLL, 2014; BARBOSA et al., 2021)

A avaliação de IHC é um processo essencial, com foco em garantir que o sistema

interativo atenda aos critérios de qualidade (qualidade de uso) importantes nesse domínio como, por exemplo, a usabilidade e a experiência do usuário (BARBOSA et al., 2021). A avaliação de sistemas interativos com o foco em experiência do usuário conduz o avaliador a fazer uma análise dos sistemas interativos computacionais e de comportamento dos usuários que permite a identificação de erros na interação e na interface que afetam a experiência do usuário durante o uso do sistema (BARBOSA et al., 2021).

A avaliação de IHC e o fenômeno de interação, assim como outros aspectos de IHC, estão sendo tratados no contexto de uma pesquisa de doutorado que propõe a *Human-Computer Interaction Ontology Network* (HCI-ON)¹ (COSTA et al., 2020; COSTA, 2021). De acordo com Costa et al. (2020), IHC é um domínio complexo, no qual ontologias que cobrem diferentes aspectos de IHC devem ser integradas formando uma rede de ontologias. HCI-ON tem como objetivo prover uma conceituação abrangente e consistente para representar o corpo de conhecimento em IHC e apoiar soluções nesse domínio. Entre as ontologias da HCI-ON, a *Human-Computer Interaction Evaluation Ontology* (HCIEO) visa estabelecer uma conceituação explícita e compartilhada da avaliação de IHC, baseada na estratégia centrada no usuário, descrevendo os principais conceitos desse domínio (COSTA et al., 2020; COSTA, 2021).

O *Usability and Software Engineering Research Group*² (USES) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), que trabalha, entre outros, com a avaliação de usabilidade e experiência de usuário, relatou a necessidade de avaliar o comportamento do usuário (principalmente a experiência do usuário) em sua interação com um aplicativo de entretenimento imersivo para grandes eventos, o Compomus (MARQUES et al., 2020). Essa necessidade levou a uma parceria com o NEMO³ (Núcleo de Estudos em Modelagem Conceitual e Ontologias) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no contexto da pesquisa de doutorado anteriormente citada. Utilizando o Compomus, várias pessoas interagindo com seus celulares, produzem som de forma coletiva. Como os dados de interação dizem respeito a muitos usuários e devem ser coletados sem interromper a experiência do usuário, não é viável coletar e analisar dados manualmente (COSTA, 2021). Portanto, uma solução automatizada se torna necessária e ao mesmo tempo surge a oportunidade de utilizar um extrato da HCI-ON (COSTA, 2021) para apoiar a construção dessa solução baseada em ontologia.

Considerando a parceria NEMO/USES e os desafios na avaliação da experiência do usuário e o uso de ontologias para apoiar soluções no domínio de IHC, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema baseado em ontologias para avaliação da experiência de usuários em aplicações imersivas para grandes eventos. Neste trabalho, a aplicação considerada é o Compomus (AMAZONAS et al., 2019; MARQUES et al., 2020).

¹ <https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/>

² <http://uses.icomp.ufam.edu.br/index.php/en/>

³ <https://nemo.inf.ufes.br>

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um sistema baseado em ontologias para apoiar a avaliação da experiência do usuário no contexto de uma aplicação de experiência imersiva para grandes eventos. O sistema baseado em ontologias propõe automatizar o processo de avaliação da experiência do usuário, com dados coletados por observação indireta e o uso de métricas, e disponibilizar o resultado das medições na forma de tabelas e gráficos, permitindo que o avaliador possa analisá-los e gerar relatórios de avaliação sobre as experiências imersivas.

Esse objetivo geral pode ser detalhado nos seguintes objetivos específicos:

- i. Identificar o extrato de HCI-ON que descreve o domínio de interesse para a solução proposta;
- ii. Especificar o sistema baseado em ontologias a ser produzido;
- iii. Projetar a solução baseada em ontologias a ser adotada;
- iv. Implementar, testar e disponibilizar uma versão do sistema.

1.3 Método de Desenvolvimento do Trabalho

Este trabalho foi conduzido de acordo com as seguintes atividades:

- i. *Revisão da Literatura*: O trabalho teve início com uma revisão bibliográfica sobre avaliação de IHC e avaliação da experiência do usuário, ontologias e redes de ontologias, na qual foram lidos materiais (livros, teses, dissertações e artigos científicos) pertinentes ao assunto.
- ii. *Estudo de Tecnologias*: Nesta etapa ocorreu o estudo de tecnologias relevantes para o desenvolvimento do sistema, destacando-se: a linguagem de programação Python⁴ para a implementação das funcionalidades e o Flask⁵ (*micro web framework*) que utiliza Python para o desenvolvimento de aplicações web. A linguagem de marcação HTML⁶ (*HyperText Markup Language*) e de estilo CSS⁷ (*Cascading Style Sheets*) para a renderização das páginas web. Também ocorreu o estudo das linguagens OWL e RDF⁸ (*Resource Description Framework*), utilizadas na implementação da ontologia

⁴ <https://www.python.org>

⁵ <https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/>

⁶ <https://html.spec.whatwg.org/multipage/>

⁷ <https://www.w3.org/Style/CSS/>

⁸ <https://www.w3.org/RDF/>

operacional. Também foram estudadas as bibliotecas Owlready2⁹(JEAN-BAPTISTE, 2021) e SQLite3¹⁰, que auxiliam no desenvolvimento de sistemas orientados a ontologias operacionais e na persistência de dados sob a forma de triplas, respectivamente. Também ocorreu o estudo da linguagem SPARQL¹¹ (*SPARQL Protocol and RDF Query Language*) para realizar as consultas em RDF na ontologia operacional. O RDF é uma linguagem para a representação de informações na web, armazenando a informação em formato de tripla cada uma contendo sujeito, predicado e objeto. Esta linguagem é utilizada para fazer consultas na ontologia operacional. Também ocorreu o estudo do banco de triplas e do sistema Stardog¹², que armazena a informação no formato de grafo de conhecimento.

- iii. *Levantamento e Análise de Requisitos*: Consistiu na identificação e análise dos requisitos do sistema, incluindo a elaboração de diagramas da UML¹³ (*Unified Modeling Language*), tais como diagrama de casos de uso. Após isso, utilizando-se o método prototipação, foram desenvolvidos *mockups* do sistema, com as definições de design de interface.
- iv. *Design, Implementação e Testes*: Nesta etapa foi definido o projeto de arquitetura do sistema, o projeto de seus componentes, o sistema foi implementado e testado. No que diz respeito à implementação, primeiro foi produzido um MVP (*Minimum Viable Product*) que, após avaliação por parte de membros do USES, foi evoluído para o sistema apresentado neste trabalho.
- v. *Escrita da Monografia*: Consistiu na escrita da monografia.

1.4 Organização da Monografia

Além desta introdução, esta monografia é composta por outros quatro capítulos:

- O Capítulo 2 apresenta os aspectos relativos ao conteúdo teórico relevante para o trabalho;
- O Capítulo 3 apresenta UXON, a principal contribuição do trabalho;
- O Capítulo 4 apresenta as considerações finais do trabalho.

⁹ <https://owlready2.readthedocs.io/en/latest/index.html>

¹⁰ <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html>

¹¹ <https://www.w3.org/TR/sparql11-overview/>

¹² <https://www.stardog.com>

¹³ <https://www.uml.org>

2 Referencial Teórico e Tecnologias Utilizadas

Neste capítulo são apresentados os principais fundamentos teóricos e tecnológicos relacionados a este trabalho. A Seção 2.1 aborda a interação humano-computador e a avaliação em IHC. A Seção 2.2 trata de Ontologias e Redes de Ontologias. A Seção 2.3 discute aspectos do desenvolvimento de sistemas orientado a ontologias. A Seção 2.4 apresenta tecnologias usadas neste trabalho. E por fim, a Seção 2.5 apresenta as considerações finais do capítulo.

2.1 Interação Humano-Computador

Com o crescimento acelerado das tecnologias é constante o surgimento de novos sistemas computacionais, cada vez mais personalizáveis e adaptáveis, que visam auxiliar os usuários em tarefas do dia-a-dia (BARBOSA et al., 2021). A área de estudo de IHC é responsável pelos processos de analisar, desenvolver, implementar e avaliar os sistemas computacionais interativos (PREECE; SHARP; ROGERS, 2019), mantendo o foco na qualidade das interações entre o usuário e esses sistemas.

De acordo com Barbosa et al. (2021), sistemas interativos computacionais são sistemas constituídos por elementos de hardware e software e meios de comunicação construídos para relacionar-se com pessoas. Em IHC, esse relacionamento ocorre por meio do fenômeno da interação humano-computador, que é definido como a comunicação entre um usuário e um sistema interativo, sendo ambos participantes dessa interação (DIX et al., 2004). Essa comunicação ocorre durante o uso do sistema interativo pelo usuário, envolvendo ações realizadas por esse usuário a partir das interfaces da aplicação e interpretações que o usuário teve dos resultados obtidos pelo sistema (BENYON, 2010).

A área de conhecimento em IHC tem como principal objetivo melhorar a usabilidade dos sistemas interativos computacionais, assim como a experiência provocada por esses sistemas nos usuários. Portanto, ela propõe desenvolver e aplicar métodos de design e avaliação focados nas qualidades de uso desses sistemas para o uso humano e nos fenômenos relacionados a esse uso (PREECE; SHARP; ROGERS, 2019; CARROLL, 2014).

A qualidade de uso está relacionada às características da interação e da interface do sistema interativo e visa atender às expectativas dos usuários na realização de suas tarefas (BARBOSA et al., 2021). Por exemplo, a experiência do usuário é um atributo de qualidade que decorreu da necessidade de um conceito mais amplo de aspectos não utilitários da interação humano-computador, mudando o foco para emoção, sentimento e significado, e o valor dessas interações na vida diária (LAW et al., 2009). De acordo

com a ISO (2019), a usabilidade é definida como o quanto um sistema, produto ou serviço pode ser utilizado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação no contexto em que se encontra (NIELSEN, 1993; BARBOSA et al., 2021).

Antigamente, os sistemas interativos tinham como principal objetivo disponibilizar funcionalidades úteis para a resolução de algum problema (usabilidade). Atualmente, eles visam proporcionar experiências positivas e envolventes para os seus usuários (RUSSO et al., 2015). Portanto, critérios de usabilidade como tempo de execução da tarefa ou número de cliques não são suficientes para analisar a experiência do usuário com o sistema. É necessário entender como o usuário se sente quando interage com a interface (VERMEEREN et al., 2010).

A avaliação em IHC é um processo fundamental para se garantir a qualidade de uso de um sistema interativo e permite avaliar diversos critérios de qualidade dos sistemas, como a usabilidade ou a experiência do usuário (BARBOSA et al., 2021). A avaliação de sistemas interativos com o foco em experiência do usuário conduz o avaliador a fazer uma análise dos sistemas interativos computacionais e de comportamento dos usuários, permitindo a identificação de erros na interação e na interface que atrapalham a experiência do usuário (BARBOSA et al., 2021; MARQUES et al., 2020; MENEZES; NONNECKE, 2014).

Em Ardito et al. (2014) são apresentadas três principais atividades que devem ser realizadas em uma avaliação em IHC: *planejamento*, no qual se realiza um estudo sobre o sistema buscando entender o contexto e identificar possíveis aspectos problemáticos; *coleta de dados*, na qual se obtém informações sobre o sistema e busca capturar o que acontece na prática; e *análise e apresentação dos resultados*, os quais buscam realizar uma análise qualitativa a partir das informações coletadas. As atividades são complementadas com o uso de métodos específicos e alinhados aos objetivos da avaliação.

Há métodos em IHC nos quais a avaliação da usabilidade e da experiência do usuário são baseados na observação do usuário, permitindo o registro de dados da interação e na medição dos dados coletados (BARBOSA et al., 2021) para que se chegue em conclusões sobre as características de qualidade. A observação garante que o usuário não seja interrompido durante a sua interação e experiência a ser vivenciada. Além disso, os métodos de observação podem ser: *diretos*, quando os dados são diretamente registrados pelo avaliador que observa o usuário; e *indiretos*, quando os dados são registrados por sistemas, ou seja, indiretamente registrados, e não requerem a presença do avaliador durante a avaliação (BARBOSA et al., 2021; MARQUES et al., 2020; PREECE; SHARP; ROGERS, 2019). Em ambos, os dados das interações e situações que podem ocorrer enquanto o usuário interage com o sistema sendo avaliado são registrados (ou medidos) e analisados, permitindo identificar problemas que ocorreram durante a sua experiência

de uso (BARBOSA et al., 2021; MARQUES et al., 2020; PREECE; SHARP; ROGERS, 2019).

A avaliação da experiência do usuário por observação indireta ocorre de maneira automática através da captura dos registros das interações dos usuários (por meio de logs de dados do sistema) com o sistema a ser avaliado. Esse tipo de avaliação envolve medições e métricas, que são usadas para entender o comportamento individual do usuário, bem como para capturar a experiência do usuário (MARQUES et al., 2020; MENEZES; NONNECKE, 2014). Uma métrica permite caracterizar um determinado evento ou artefato a partir da quantificação de suas propriedades. Assim, métricas relacionadas à experiência do usuário descrevem de forma quantitativa alguma perspectiva dessa experiência (ALBERT; TULLIS, 2013). Desta forma, elas evidenciam, a partir de valores quantitativos, algum aspecto da interação entre o usuário e o sistema como, por exemplo: a eficácia (capacidade de realizar uma tarefa); a eficiência (a quantidade de esforço utilizado para completar a tarefa); ou a satisfação (o quanto o usuário ficou feliz com sua experiência durante a realização da tarefa). Uma característica marcante entre métricas relacionadas à experiência do usuário é que elas medem algo relacionado aos seres humanos e seus comportamentos (ALBERT; TULLIS, 2013).

A observação direta tem melhor custo-benefício quando a avaliação envolve poucos usuários. Já para as aplicações nas quais é necessário observar o comportamento de uma grande quantidade de usuários, a observação indireta se torna mais apropriada. Nesse sentido, em um estudo conduzido por Marques et al. (2020), foram desenvolvidas métricas específicas para a avaliação da experiência do usuário em sistemas de entretenimento imersivo para grandes eventos. Nesse estudo foi empregada a avaliação por observação indireta, com o registro automático dos dados das interações por meio de logs do sistema. As métricas desse estudo foram definidas considerando o tempo das interações dos usuários e o comportamento de cada usuário durante a sua experiência, e têm por objetivo medir a experiência do usuário a partir do engajamento nas interações com o sistema (MARQUES et al., 2020).

2.2 Ontologias

Uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceituação compartilhada (STUDER; BENJAMINS; FENSEL, 1998). De acordo com (SCHERP et al., 2011), existem três classificações de ontologias de acordo com o nível de generalização: ontologias de fundamentação, ontologias de núcleo e ontologias de domínio. As *ontologias de fundamentação* visam representar conceitos mais genéricos, que não dependem de um domínio específico e que estão presentes em situações do mundo de forma geral (GUARINO, 1998). *Ontologias de núcleo* são refinamentos das ontologias de fundamentação,

mas adicionando conceitos específicos de alguma área (ex.: serviços, processos, estrutura organizacional) mantendo um nível de generalização que pode ser aplicado em diversos subdomínios, porém ainda dependente do domínio específico (SCHERP et al., 2011). Por fim, as *ontologias de domínio* representam o nível mais baixo de generalização e são aquelas específicas de um domínio em particular, como medicina ou automóveis, por exemplo (GUARINO, 1998).

Outra forma de classificação de ontologias é distingui-las entre modelos conceituais (ontologias de referência) e ontologias operacionais (ontologias implementadas como artefatos computacionais) (GUIZZARDI et al., 2007). As *ontologias de referência* são artefatos criados com o objetivo de representar os conceitos de um domínio de forma a representar a realidade, ou seja, são modelos conceituais que representam o conhecimento consensual entre os membros de uma comunidade sem a preocupação com características computacionais (GUIZZARDI et al., 2007; STUDER; BENJAMINS; FENSEL, 1998). Já as *ontologias operacionais* buscam representar o modelo conceitual das ontologias de referência, porém com o foco em garantir propriedades computacionais desejáveis (GUIZZARDI et al., 2007).

Em domínios grandes e complexos, representar o conhecimento em uma única ontologia pode gerar uma ontologia muito grande e difícil de manipular, utilizar e manter (SUÁREZ-FIGUEROA et al., 2012). Por outro lado, representar o conhecido em várias ontologias isoladas pode ser uma tarefa custosa e trazer uma solução fragmentada e difícil de manipular (RUY et al., 2016). Nesses casos, uma solução mais adequada seria a construção de uma rede de ontologias ao invés de uma ontologia única (SUÁREZ-FIGUEROA et al., 2012). A integração de diversas ontologias em uma rede gera um artefato que pode ser explorado e utilizado para criar diferentes soluções para problemas referentes ao domínio em questão (COSTA et al., 2020; COSTA, 2021). Apesar da construção da rede de ontologias exigir um esforço maior, o resultado permite maior reutilização e crescimento do conhecimento, promovendo soluções mais robustas e abrangentes (COSTA et al., 2020).

A *Human-Computer Interaction Ontology Network* (HCI-ON) (COSTA et al., 2020; COSTA, 2021) é uma rede de ontologias que visa descrever o domínio de IHC. As ontologias que formam a rede são interligadas por relacionamentos de dependência (e.g., especialização), que indicam quais conceitos de uma ontologia são reusados por outras. A Figura 1 apresenta uma visão geral de HCI-ON.

Conforme apresentado na Figura 1, HCI-ON possui uma arquitetura com três camadas: camada de fundamentação (*Foundational Layer*), camada de núcleo (*Core Layer*) e camada de domínio (*Domain Layer*) (COSTA et al., 2020; COSTA, 2021). Na camada de fundamentação encontra-se a *Unified Foundational Ontology* (UFO) (GUIZZARDI, 2005; GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008; GUIZZARDI et al., 2013). UFO é uma ontologia de fundamentação baseada em teorias de Ontologia Formal, Lógica Filosófica,

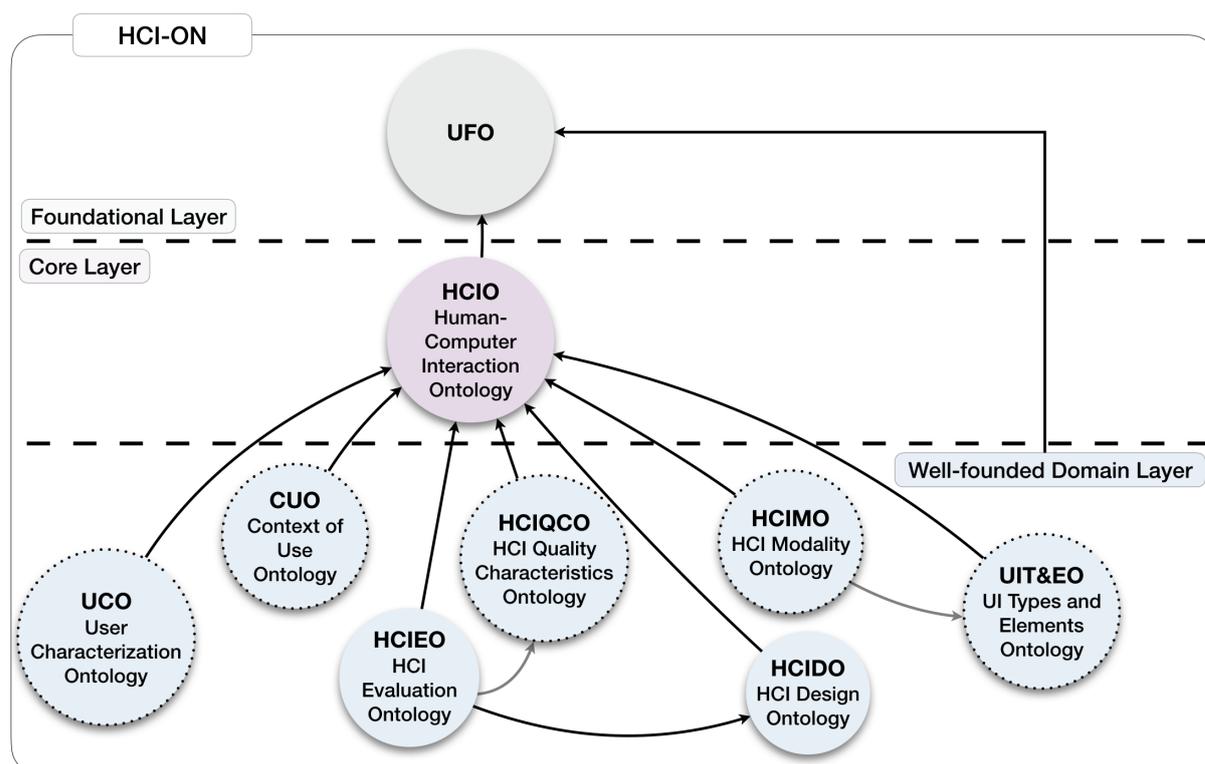


Figura 1 – HCI-ON current version (COSTA, 2021).

Linguística e Psicologia Cognitiva, que descreve objetos (*endurants*), eventos (*perdurants*) e entidades sociais (*social entities*) (GUIZZARDI, 2005; GUIZZARDI; FALBO; GUIZZARDI, 2008; GUIZZARDI et al., 2013; GUIZZARDI et al., 2015; GUIZZARDI et al., 2018). A camada de núcleo é formada pela *Human-Computer Interaction Ontology* (HCIO), uma ontologia de referência e central na rede, que descreve conceitos e relações centrais sobre o fenômeno de interação, o usuário, o sistema interativo computacional e suas participações nesse fenômeno (COSTA, 2021). Já na camada de domínio existem diversas ontologias que são específicas a subdomínios de IHC, como a *Human-Computer Interaction Design Ontology* (HCIDO) e a *Human-Computer Interaction Evaluation Ontology* (HCIEO), que especificam conceitos relacionados respectivamente, ao design e à avaliação em IHC (COSTA, 2021). Uma descrição completa de HCI-ON encontra-se em (COSTA, 2021).

Um dos benefícios da HCI-ON é prover o seu uso de maneira flexível, ou seja, podendo ser usada por completo ou através de extratos (recortes) da rede (COSTA, 2021). A Figura 2, por exemplo, apresenta o extrato de HCI-ON utilizado neste trabalho para implementar o sistema baseado em ontologias para a avaliação da experiência do usuário em aplicações imersivas (UXON). Ele pode ser usado em nível conceitual, permitindo o entendimento acerca de uma avaliação de IHC que envolve medições, como também em nível computacional, sendo implementando em alguma linguagem de computador e apoiando o desenvolvimento de sistemas baseados em ontologia (COSTA, 2021).

O extrato da HCI-ON apresentado na Figura 2 inclui conceitos da ontologia de

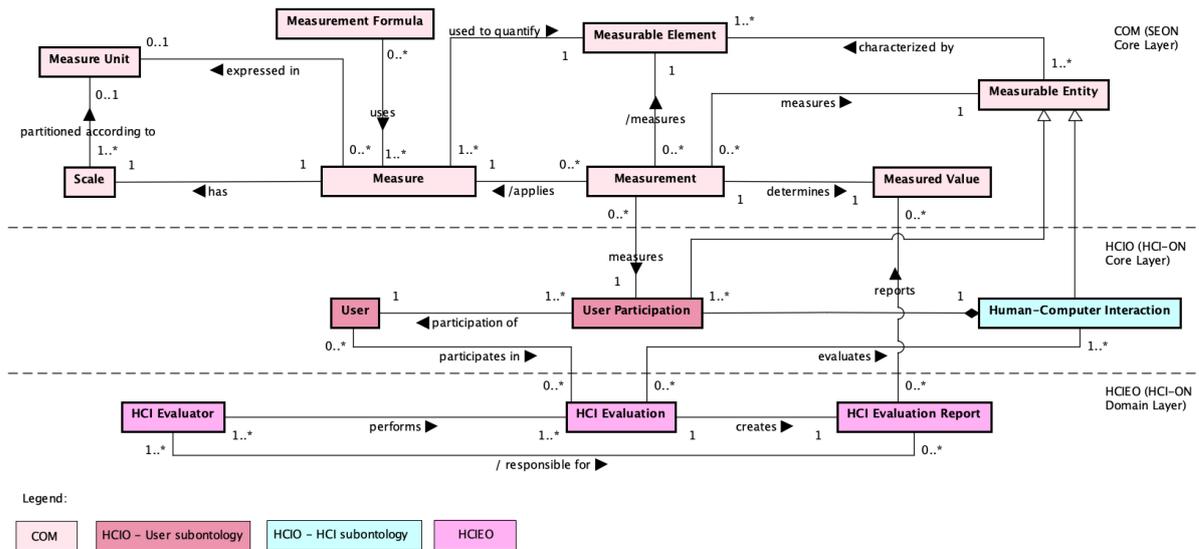


Figura 2 – Extrato da HCI-ON a ser utilizado neste trabalho (COSTA, 2021).

avaliação (HCIEO), do fenômeno de interação (HCIO) e de medição (*Core Ontology on Measurement – COM*) (BARCELLOS; FALBO; FRAUCHES, 2014). No contexto de avaliação, o conceito *HCI Evaluation* representa um evento intencional (ação complexa) causado pela intenção de um *HCI Evaluator* e consiste em determinar o quanto um sistema interativo atende aos critérios de qualidade levados em consideração na avaliação (COSTA, 2021). O conceito *HCI Evaluation Report*, representa o documento que apresenta os resultados da avaliação e outras informações relevantes, como os critérios de avaliação de IHC considerados (COSTA, 2021). No contexto do fenômeno de interação, há o conceito de *Human-Computer Interaction* que representa a comunicação entre um usuário e um sistema computacional interativo por meio de uma interface (COSTA, 2021). Também estão presentes outros dois conceitos: *User*, que representa uma pessoa que interage com (ou espera-se que interaja com) um sistema interativo (COSTA, 2021) e *User Participation*, que representa um evento em que um usuário participa de uma interação humano-computador (COSTA, 2021).

Já no contexto de medição, *Measurable Entity* é uma entidade que pode ser medida (e.g., uma pessoa, um sistema) e *Measurable Element* denota uma propriedade que pode ser medida em alguma entidade mensurável (e.g., peso, usabilidade). *Measure* representa uma função usada para associar um valor medido a um elemento mensurável de uma entidade mensurável (por exemplo, a medida peso em quilos pode ser usada para associar o valor medido 60,8 ao peso de Maria) (BARCELLOS; FALBO; FRAUCHES, 2014). *Measurement* representa uma ação que mede um elemento mensurável de uma entidade mensurável aplicando uma medida para obter um valor medido (BARCELLOS; FALBO; FRAUCHES, 2014). *Measured Value* representa o valor obtido a partir de uma medição (*Measurement*) (BARCELLOS; FALBO; FRAUCHES, 2014). Esses conceitos e as relações entre eles representam uma conceituação que promove o entendimento acerca da avaliação

da experiência do usuário (baseada em medições) durante a sua interação com um sistema interativo.

2.3 Desenvolvimento de Software orientado a Ontologias

Durante o processo de desenvolvimento de software, ontologias podem ser aplicadas de diversas maneiras e em diversos níveis. De acordo com [Happel e Seedorf \(2006\)](#), durante o processo de análise e projeto de software, duas áreas podem se beneficiar do uso de ontologias: engenharia de requisitos, disponibilizando a representação do conhecimento e o suporte a processos; e projeto de sistemas, pelo reúso de componentes.

A partir dessa ideia, [Happel e Seedorf \(2006\)](#) consideram duas dimensões de abordagens de uso de ontologias: a primeira diz respeito ao papel que as ontologias exercem no processo de engenharia de software, podendo ser usadas em *run-time* e *development time*; já a segunda diz respeito ao tipo conhecimento que as ontologias se comprometem em apoiar, podendo ser no conhecimento do domínio do problema a ser resolvido ou de aspectos de infraestrutura do projeto. Ao analisar ambas as dimensões, [Happel e Seedorf \(2006\)](#) propõem quatro grandes áreas de desenvolvimento orientado a ontologias:

- *Ontology-driven development* (ODD): aplica o uso das ontologias em *development time*, apoiando o conhecimento do domínio do problema.
- *Ontology-enabled development* (OED): aplica o uso das ontologias em *development time*, apoiando as tarefas no processo de desenvolvimento.
- *Ontology-based architectures* (OBA): utiliza ontologias como artefatos primários em *run-time*, fazendo um papel principal na lógica da aplicação.
- *Ontology-enabled architectures* (OEA): utiliza ontologias que apoiam a infraestrutura do projeto em *run-time*.

2.4 Tecnologias Envolvidas neste Trabalho

Nesta seção são apresentadas breves descrições das tecnologias utilizadas neste trabalho. O sistema foi desenvolvido utilizando tecnologias que viabilizam soluções web, como o web *framework*¹ Flask, a linguagem de programação Python, a linguagem de marcação HTML e de estilo CSS; e soluções da Web Semântica² (soluções baseadas em ontologias operacionais), como as linguagens OWL, RDF e SPARQL, e as bibliotecas Owlready2 e SQLite3.

¹ Conjunto de bibliotecas ou componentes utilizados como base para o desenvolvimento de uma aplicação.

² A Web Semântica é a web que pode ser processada por computadores e que, ao mesmo tempo, permite

- **Flask**

Para o desenvolvimento do sistema foi utilizado o Flask, micro web *framework*, escrito em Python, que utiliza a linguagem Python para criar sistemas e aplicativos Web. Ele é classificado como “micro” porque não requer ferramentas ou bibliotecas particulares, possui apenas um núcleo simples, porém extensível. Apesar de não possuir camada de abstração de banco de dados, validação de formulários e outras funcionalidades comuns no desenvolvimento web, o Flask oferece suporte a bibliotecas e extensões que podem ser adicionadas na aplicação web a ser desenvolvida.

O Flask é baseado no kit de ferramentas Werkzeug WSGI³ (*Web Server Gateway Interface*) e na biblioteca Jinja2⁴. WSGI é um padrão para desenvolvimento de aplicações web em Python, ou seja, uma interface comum entre servidores e aplicativos web. O Werkzeug implementa funções web como *requests* utilizando o padrão WSGI. A biblioteca Jinja2 é um mecanismo de template para a linguagem de programação Python, permitindo inserir códigos em Python nas páginas HTML por meio de diretivas especiais.

- **Python**

Python é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada, imperativa, orientada a objetos, funcional, de tipagem dinâmica e forte. Ela é utilizada para implementar a lógica do sistema. Possui uma sintaxe simples e fácil que enfatiza a legibilidade do código para reduzir o custo de manutenção do sistema. Python oferece suporte a bibliotecas e pacotes desenvolvidos por sua comunidade, os quais incentivam a modularização e a reutilização de códigos. Python é um projeto *Open Source*, portanto, seu código é aberto e a utilização é gratuita.

- **Java Script**

Java Script⁵ é uma linguagem de programação de script e estruturada, multiparadigma e assíncrona. Ela é usada para realizar ações no navegador, deixando as páginas web mais interativas e fluidas. Possui suporte nos principais navegadores e é do tipo *client-side*, ou seja, ela é executada no computador do usuário. Juntamente com o HTML e o CSS, ela é uma das linguagens mais utilizadas para o desenvolvimento web. Essa linguagem é mantida pela ECMA⁶ (*European Computer Manufacturer's Association*).

- **HyperText Markup Language (HTML)**

O HTML é uma linguagem de marcação interpretada, desenvolvida pela W3C⁷

a leitura por humanos. Ela adota padrões de tecnologia da W3C (W3C, c2015).

³ <https://www.palletsprojects.com/p/werkzeug/>

⁴ <https://www.palletsprojects.com/p/jinja/>

⁵ <https://developer.oracle.com/br/javascript/>

⁶ <https://www.ecma-international.org>

⁷ Consórcio internacional no qual organizações filiadas trabalham juntos para desenvolver padrões para

(*Consórcio World Wide Web*), utilizada na construção e organização de elementos dentro de páginas web. O HTML utiliza “marcação” para representar elementos de texto, de imagem, entre outros, para exibição em um navegador web. Ele é o bloco de construção mais básico da web e normalmente é utilizado junto às ferramentas CSS e JavaScript. Sua versão mais atual é conhecida como HTML5, que permite incorporar mais recursos (elementos) nas páginas web, como a reprodução de vídeos e de áudios.

- **Cascading Style Sheets (CSS)**

O CSS é uma linguagem de estilo, desenvolvida pela W3C, utilizada para estilizar elementos HTML e torná-los mais modernos e atrativos.

- **RDF**

O RDF é uma linguagem padrão da W3C para representação e troca de dados na web. Ela adota a estrutura de ligação conhecida como triplas (que formam gráficos direcionados e rotulados), na qual há o sujeito (recurso), o predicado (característica do recurso) e o objeto (valor da característica).

- **OWL e OWL 2.0**

OWL é uma linguagem desenvolvida pela W3C, para definição e instanciação de ontologias operacionais. A OWL foi desenvolvida para uso em aplicações que necessitam manipular e processar informações de páginas web, tornando-as legíveis por máquinas. Atualmente, ela é uma recomendação (padrão) da W3C e é promissora na área de Web Semântica. Sua versão mais atual é a OWL 2, que adiciona novas funcionalidades a sua versão anterior.

- **SPARQL**

SPARQL é uma linguagem desenvolvida pela W3C, para realizar consultas em estruturas em RDF. SPARQL é utilizada para expressar consultas no formato de triplas e é uma tecnologia básica na área da Web Semântica.

- **Owlready2**

Owlready2 é um pacote, uma biblioteca do Python, proposta para a programação orientada a ontologias (JEAN-BAPTISTE, 2021). Esse pacote permite carregar ontologias OWL 2.0 em objetos do Python, os quais podem manipular (modificar, salvar, etc) diretamente as entidades da ontologia. Owlready2 permite o acesso transparente a uma ontologia em OWL, mapeando as classes da ontologia como classes em Python e assim permitindo o acesso às propriedades da classe como atributos, diferentemente das bibliotecas em Java. A versão 2 da Owlready inclui um banco de dados de triplas (tipo triplestore/quadstore) baseado em SQLite3. Esse

banco tem a vantagem de ser otimizado (para desempenho e consumo de memória) tornando viável a manipulação de grandes ontologias (JEAN-BAPTISTE, 2021).

- **SQLite3**

SQLite é uma biblioteca em C, que implementa um mecanismo de banco de dados SQL pequeno, rápido, independente, de alta confiabilidade e recursos completos. É um banco de dados leve, que não necessita de um servidor pois pode ser armazenado na memória RAM ou no disco do computador. SQLite3 é a versão 3 do SQLite e fornece um formato mais compacto para arquivos de banco de dados, disponibilizado na linguagem Python sob a forma de pacote.

- **Stardog**

Stardog é um banco de dados em formato de grafos de conhecimento (*knowledge graph*) ou grafos em RDF (*RDF graphs*). Um grafo de conhecimento é capaz de transformar os dados em conhecimento compreensível por máquina. Dessa maneira, o Stardog permite o armazenamento dos dados no formato RDF. *Pystardog* é uma biblioteca que permite a manipulação do Stardog através de aplicações em Python.

2.5 Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados a fundamentação teórica e os recursos tecnológicos necessários para o desenvolvimento deste trabalho. Quanto à fundamentação teórica, discorreu-se sobre a área de IHC e seus fenômenos, sistemas interativos computacionais, experiência do usuário e avaliação de IHC com foco em experiência do usuário. Também foram abordadas ontologias e redes de ontologias, mais especificamente para a área de IHC, tendo sido apresentada a *Human-Computer Interaction Ontology Network* (HCI-ON). Ainda na fundamentação teórica foi discorrido sobre desenvolvimento orientado a ontologias. No âmbito tecnológico foram discutidas tecnologias de desenvolvimento web e da web semântica que foram adotadas no desenvolvimento do sistema baseado em ontologias proposto. Para a construção da interface do sistema, foram apresentadas informações sobre as linguagens HTML, CSS e JavaScript. Para a construção da lógica do sistema falou-se sobre o framework Flask e a linguagem Python. Por fim, em relação a tecnologias de desenvolvimento baseado em ontologias, foram apresentadas informações sobre as bibliotecas Owlready2 e SQLite3, sobre o banco de triplas Stardog e sobre as linguagens RDF, OWL e SPARQL.

3 Desenvolvimento do Sistema UXON

Este capítulo apresenta os principais resultados produzidos ao longo do desenvolvimento de UXON (User eXperience Ontology Network based-system), um sistema baseado em ontologias para apoiar a avaliação de UX de usuários em sistemas interativos imersivos. Na Seção 3.1 são apresentados o minimundo, o propósito do sistema e os resultados produzidos durante a especificação e a análise de requisitos da UXON. Na Seção 3.2 são apresentados os resultados produzidos durante a fase de projeto da ferramenta. Na Seção 3.3 são apresentadas algumas telas da ferramenta. Por fim, a seção 3.4 apresenta as considerações finais do capítulo.

3.1 Requisitos e Modelagem Conceitual

O levantamento de requisitos consiste em aprender e entender as necessidades dos usuários e *stakeholders* do projeto, com o objetivo final de comunicar essas necessidades ao desenvolvedor do sistema. A principal parte do processo de levantamento de requisitos é descobrir, extrair e revelar os desejos dos *stakeholders* (AURUM; WOHLIN, 2005).

3.1.1 Minimundo

A descrição do minimundo tem como objetivo apresentar uma visão geral do domínio e do problema a ser tratado, além de apresentar os processos de negócios que devem ser apoiados (BARCELLOS, 2018).

Conforme apresentado no Capítulo 1, o Compomus (AMAZONAS et al., 2019; MARQUES et al., 2020) é uma aplicação de composição musical imersiva que coleta dados da interação (logs de interação) de várias pessoas durante a produção coletiva de som. O evento de composição musical é realizado em sessões que se configuram em um intervalo de tempo e em grupos de pessoas que ocupam uma mesma sala, na qual existem quatro caixas de som. Cada pessoa da sessão usa o Compomus em seu celular para escolher entre 50 tipos de som. Quando um som é escolhido por uma pessoa, ele é reproduzido em uma das quatro caixas de som, as quais emitem simultaneamente os sons escolhidos pelas outras pessoas que participam da sessão. As caixas de som são posicionadas geograficamente formando o ambiente musical (um retângulo) e as pessoas se movimentam dentro desse ambiente, selecionando/reproduzindo sons nas caixas de som através da interação com o Compomus.

Nesse contexto, para cada pessoa e para cada movimentação ou escolha de som dela nesse ambiente o Compomus registra automaticamente, sob a forma de log de interação

(Figura 3), os seguintes dados: *pessoa*, *x*, *y*, *z*, *tempo*, *hora* e *som* (primeira linha da Figura 3).

```

1  pessoa,x,y,z,tempo,hora,som
2  160,312.696,0,-0.67,17:12,20:46:22,32
3  160,312.696,0,-0.67,17:12,20:46:22,45
4  160,0,0,-0.67,17:12,20:46:22,45
5  160,-301.562,253.041,-0.67,17:12,20:46:22,45
6  160,-292.547,263.411,-0.67,17:12,20:46:22,45
7  160,-287.906,268.476,-0.67,17:12,20:46:22,45
8  160,-283.176,27.346,-0.67,17:13,20:46:23,45
9  160,-236.911,314.392,-0.67,17:13,20:46:23,45
10 160,-236.911,314.392,-0.67,17:13,20:46:23,45
11 160,-242.362,310.209,-0.67,17:13,20:46:23,45
12 160,-236.911,314.392,-0.67,17:13,20:46:23,45
13 160,-236.911,314.392,-0.67,17:13,20:46:24,45
14 160,-236.911,314.392,-0.67,17:13,20:46:24,45
15 160,-236.911,314.392,-0.67,17:13,20:46:24,45

```

Figura 3 – Recorte de um arquivo de log de interação gerado pelo Compomus (MARQUES et al., 2020).

Pessoa se refere ao id do participante (número inteiro). *X*, *y* e *z*¹ juntos se referem à geolocalização da *Pessoa* no ambiente de composição musical (número de ponto flutuante). *Tempo* se refere ao tempo de duração da sessão até o momento. *Hora* se refere ao horário em que ocorreu a interação (formato HH:MM:SS). *Som* se refere a cada um dos 50 tipos de sons que podem ser escolhidos pela *Pessoa*.

No USES, para avaliar a UX dos usuários durante o evento de composição musical, os logs de interação registrados pelo Compomus eram analisados manualmente para se extrair valores para métricas de UX que eram posteriormente analisadas manualmente pelos especialistas em UX. As métricas adotadas foram elaboradas por Marques et al. (2020), sendo elas:

Interatividade do usuário: responsável por avaliar o tempo de interação de cada participante, verificando o tempo total de uma experiência e relacionando com o tempo individual de interação dos usuários. As variáveis dessa métrica são: o tempo de sessão geral (T_{sg}), o tempo inicial (T_i) e final (T_f) do evento, tempo de *logoff* (T_{off}) e o tempo de *login* (T_{in}) do usuário. O cálculo desta métrica se dá conforme a fórmula a seguir:

$$T_{sg} = \frac{(T_f - T_i)}{(T_{off} - T_{in})}$$

¹ Como o ambiente de composição musical é bidimensional, e *z* se refere à terceira dimensão em uma estrutura de dimensões, apesar de ser registrado no log, ele não é utilizado pois ele não reflete uma

Comportamento do usuário: responsável por avaliar a qualidade do tempo de interação em termos de engajamento de cada participante, isto é, investigar como os usuários interagiram através da aplicação (como imergiram na experiência). No caso do Compomus considera-se a mudança de som (*som*) e a mudança de geolocalização (x,y). O cálculo desta métrica se dá conforme a fórmula a seguir:

$$MC = \sum_j^n v$$

A fórmula acima é genérica para a métrica de comportamento. O somatório indica a quantidade de interações, v é a variável que representa a interação registrada e a variação de j até n indica a quantidade de registros.

Percentual de interações: responsável por investigar o comportamento dos usuários, utilizando o participante com maior quantidade de interações como *benchmark* (100%) e analisando-se os outros participantes em relação a esse valor). As variáveis dessa métrica são: o percentual de interações do usuário u (P_u), o valor da métrica de comportamento do usuário u e o valor da métrica de comportamento do usuário mais ativo (*benchmark*) (P_b). O cálculo desta métrica se dá conforme a fórmula a seguir:

$$P_u = \frac{MC_u}{MC_b}$$

Como cada pequeno movimento do usuário no ambiente de composição musical gera uma nova linha de registro no log de interação e como são vários usuários interagindo nesse ambiente, fica inviável realizar a manipulação e análise de dados manualmente.

3.1.2 Propósito do sistema

Conforme foi apresentado no Capítulo 1, considerando os desafios na avaliação da experiência do usuário no USES e o uso de ontologias para apoiar soluções no domínio de IHC, surgiu a parceria NEMO/USES para o desenvolvimento de um sistema que apoie a avaliação de IHC de sistemas imersivos. De um lado, há a necessidade do USES de avaliar a experiência do usuário em suas interações com um aplicativo de entretenimento imersivo para grandes eventos, o Compomus. Por outro lado, há a disponibilidade de HCI-ON (COSTA et al., 2020; COSTA, 2021), em desenvolvimento no NEMO no contexto da pesquisa de doutorado da coorientadora deste trabalho para auxiliar em soluções para o domínio de IHC. Diante disso, surgiu a oportunidade de se utilizar um extrato de HCI-ON como fonte de conhecimento e como artefato computacional sobre o domínio de avaliação de IHC e do fenômeno de interação para o desenvolvimento do sistema UXON.

UXON tem como propósito apoiar a avaliação de UX do Compomus, dando suporte

aos especialistas de UX no cálculo de métricas de UX e na análise dos resultados. O apoio se dá através da automatização de atividades de medição a partir de dados registrados em logs de interação, da apresentação dos resultados em diferentes tipos de gráficos e da realização de diferentes consultas sobre os dados coletados.

3.1.3 Requisitos

Com base no conhecimento sobre o domínio de avaliação em IHC tratado no extrato da HCI-ON (COSTA et al., 2020; COSTA, 2021) e visando atender ao propósito do sistema descrito na seção anterior, a Tabela 1 apresenta os requisitos levantados:

Tabela 1 – Requisitos Funcionais Identificados para a UXON.

| ID | Requisito | Dependência |
|-----------|---|--------------------|
| RF01 | O sistema deve permitir o upload de um arquivo de log (referente a uma sessão de composição musical) no formato csv, cujo cabeçalho contenha as seguintes informações: <i>pessoa, x, y, z, tempo, hora e som</i> | |
| RF02 | O sistema deve calcular valores para as métricas interatividade, comportamento e percentual de interações, a partir do arquivo de log enviado | RF01 |
| RF03 | O sistema deve apresentar os valores das métricas em gráficos | RF01, RF02 |
| RF04 | O sistema deve apresentar em um gráfico o ranking dos 5 sons mais utilizados na sessão | RF01 |
| RF05 | O sistema deve apresentar em um gráfico o ranking dos 5 usuários mais ativos na sessão | RF01 |
| RF06 | O sistema deve apresentar em um gráfico um mapa de geolocalização representando para cada um dos usuários, todas as suas interações (mudança de som e de geolocalização), sendo possível identificar, para cada interação, o som emitido e o instante em que ela ocorreu. | RF01 |
| RF07 | O sistema deve apresentar em um gráfico um mapa de geolocalização, contendo as interações de som e de geolocalização de todos os usuários, sendo possível identificar, para cada interação, o usuário, o som emitido e o instante em que ela ocorreu. | RF01 |

interação de mudança de geolocalização no uso do Compomus.

| | | |
|------|---|--|
| RF08 | O sistema deve apresentar em um gráfico interativo um mapa de geolocalização, para cada um dos usuários, sendo possível identificar, para cada interação, o som emitido e o instante em que ela ocorreu. | RF01 |
| RF09 | O sistema deve apresentar em um gráfico interativo um mapa de geolocalização, para todos os usuários, sendo possível identificar, para cada interação, o usuário, o som emitido e o instante em que ela ocorreu. | RF01 |
| RF10 | O sistema deve permitir fazer o download dos gráficos estáticos em formato PNG. | RF01, RF03, RF04, RF05, RF06, RF07 |
| RF11 | O sistema deve permitir o download dos valores calculados para as métricas no formato CSV. | RF01, RF02 |
| RF12 | O sistema deve gerar e disponibilizar para download um relatório de avaliação de UX em formato PDF. O relatório deve conter uma tabela com os valores calculados para as métricas, os gráficos estáticos e informações preenchidas pelo avaliador, a saber: seu nome e comentários. | RF01, RF02, RF03, RF04, RF05, RF06, RF07 |
| RF13 | O sistema deve permitir a realização de consulta sobre as interações de mudança de som de um usuário. Na consulta, deve ser possível selecionar um usuário ou todos os usuários. Para o usuário selecionado, o resultado da consulta deve apresentar todos os sons escolhidos e a hora de sua escolha. Os resultados devem ser apresentados em formato tabular e em mapa de geolocalização. | RF01 |
| RF14 | O sistema deve permitir a realização de consulta sobre a emissão de som. Na consulta, deve ser possível selecionar um som ou todos os sons. Para o som selecionado, o resultado da consulta deve apresentar todos os usuários que o emitiram e a quantidade de vezes. Os resultados devem ser apresentados em formato tabular e em mapa de geolocalização. | RF01 |

| | | |
|------|---|------|
| RF15 | O sistema deve permitir a realização de consulta personalizada na qual deve ser possível selecionar simultaneamente: um usuário (ou todos); um som (ou todos); tipo de interação (som, geolocalização ou ambas); e hora da interação (intervalo de tempo). O resultado da consulta deve ser apresentado em formato tabular. | RF01 |
| RF16 | O sistema deve permitir a realização de consulta personalizada na qual deve ser possível selecionar simultaneamente: um usuário (ou todos); tipo de interação (som, geolocalização ou ambos); e número de interações (intervalo). O resultado da consulta deve ser apresentado em formato tabular. | RF01 |

3.1.4 Casos de Uso

Casos de uso são abstrações de cenários reais que capturam e descrevem o comportamento funcional de um sistema diante das necessidades de seus usuários (AURUM; WOHLIN, 2005). Como o sistema desenvolvido visa o suporte aos especialistas em UX durante a avaliação de UX de sistemas interativos, há um único ator definido:

- **Avaliador:** Papel responsável por enviar o arquivo de log, gerar o relatório de avaliação e realizar as consultas sobre os dados.

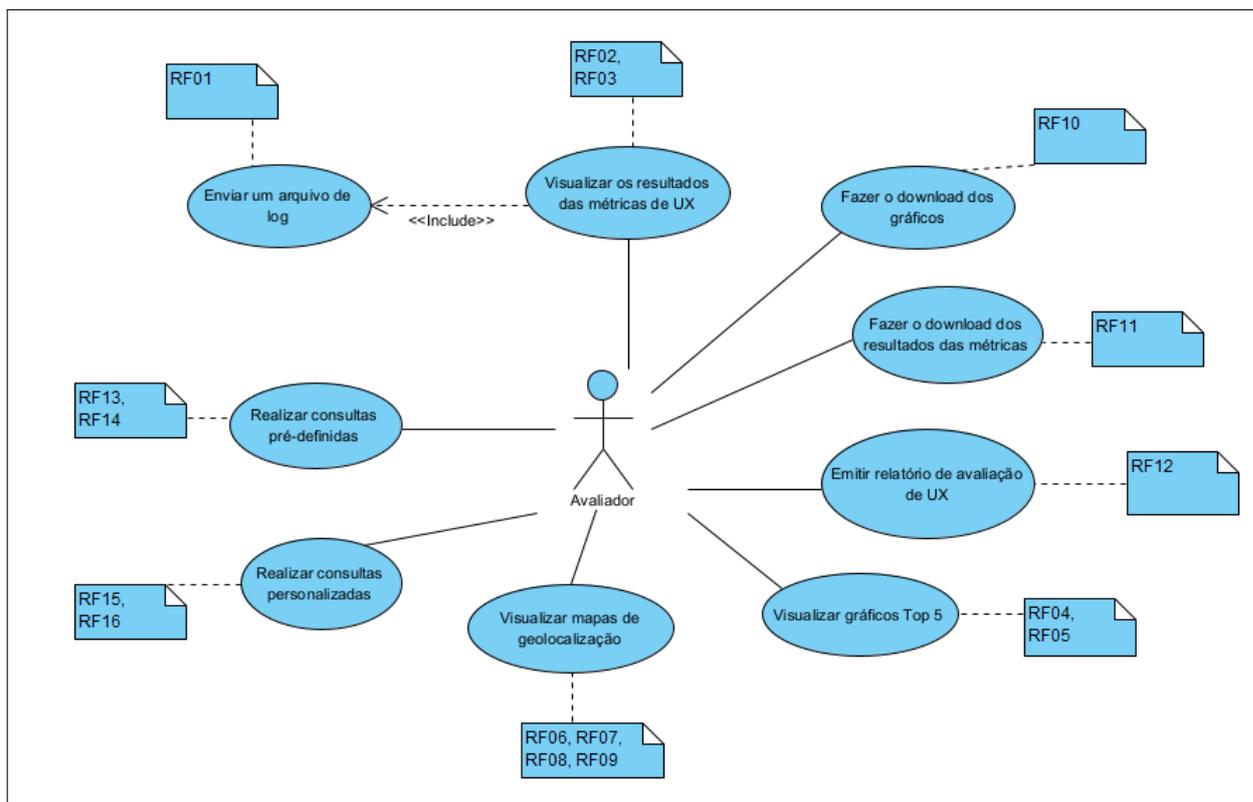


Figura 4 – Diagrama de Casos de Uso da UXON.

O **Avaliador** é responsável por realizar todos os casos de uso do sistema. O caso de uso **Enviar um arquivo de log** é realizado para fazer o upload de um arquivo de log de interação (no formato CSV² (*Comma-Separated-Values*)) contendo todos os registros das interações de usuários realizadas durante uma sessão de experiência imersiva de composição musical usando o Compomus. O caso de uso **Realizar consultas pré-definidas** representa duas consultas pré-definidas que podem ser realizadas em UXON. A primeira consulta diz respeito às interações do usuário (pessoa que participa da sessão de composição musical no Compomus) que geram mudança de som. Ela possibilita a seleção de um usuário específico ou de todos os usuários para filtrar os resultados. Apresenta todos os sons escolhidos (todas as mudanças de som) pelo usuário e a hora de sua escolha. A segunda consulta diz respeito à escolha dos sons de Compomus emitidos durante a sessão. Possibilita a seleção de um som específico ou de todos os sons para filtrar os resultados. Apresenta o número de interações que emitiram o som específico, e apresenta a geolocalização dessas emissões.

O caso de uso **Realizar consultas personalizadas** representa duas consultas personalizadas que podem ser realizadas em UXON. A primeira consulta diz respeito a todas as interações capturadas pelo arquivo log durante a sessão de composição musical no aplicativo Compomus. Ela permite filtrar os resultados considerando as seguintes informações: um usuário específico ou todos os usuários, um som emitido ou todos os sons,

² Arquivo que contém valores separados por vírgula.

tipo de interação (som ou geolocalização) e a hora da interação (mínimo e máximo). A segunda consulta diz respeito à quantidade de cada tipo de interação dos usuários. Ela permite filtrar os resultados considerando as seguintes informações: um usuário específico ou todos os usuários, tipo de interação (som ou geolocalização) e número de interações (mínimo e máximo)

O caso de uso **Visualizar gráficos top 5** tem como objetivo permitir a visualização dos gráficos que mostram o ranking dos 5 sons mais emitidos e o ranking dos 5 usuários mais ativos. O caso de uso **Visualizar mapas de geolocalização** tem como objetivo permitir a visualização dos mapas de geolocalização estáticos e dos mapas de geolocalização interativos.

O caso de uso **Visualizar resultados das métricas de UX** inclui o caso de uso **Enviar um arquivo de log**, pois necessita dos dados do arquivo para realizar os cálculos das métricas e tem como objetivo apresentar os dados resultantes dos cálculos das métricas de interatividade, comportamento e percentual de interações sob a forma de tabela e dos gráficos. O caso de uso **Fazer download dos resultados das métricas** tem como objetivo permitir o download de resultados dos cálculos das métricas no formato CSV. O caso de uso **Fazer download dos gráficos** tem como objetivo permitir o download dos gráficos estáticos contendo valores coletados para as métricas, no formato PNG.

O caso de uso **Emitir relatório de avaliação de UX** tem como objetivo permitir que o avaliador gere um relatório de avaliação e faça seu download no formato PDF, contendo uma tabela de resultados dos cálculos das métricas, os gráficos estáticos, o nome do avaliador e seus comentários sobre a avaliação.

3.1.5 Modelagem Conceitual

A modelagem conceitual tem por objetivo descrever os conceitos que o sistema deve representar e manipular, portanto é necessário que os modelos conceituais tenham enfoque no domínio do problema e não da solução (BARCELLOS, 2018).

Na modelagem conceitual de UXON, considerando-se as abordagens de aplicação de ontologias na Engenharia de Software (Seção 2.3), foi adotado o *Ontology-Driven Development* (ODD), que ocorre no tempo de desenvolvimento (*dev-time*). Nesse contexto, o extrato da HCI-ON (Figura 2) foi usado para o entendimento do domínio de avaliação em IHC que envolve medições e métricas (ver Seção 2.2), ou seja, o extrato da ontologia serviu inicialmente como base de conhecimento. Como o extrato da HCI-ON possui os conceitos e relações essenciais para a descrição do domínio a ser coberto pelo UXON, foi possível usar o modelo conceitual do extrato da rede para conceber a modelagem conceitual da UXON e, em seguida, mapear os dados do log de interação (Figura 3, Seção 3.1.1) gerado pelo Compomus nos conceitos do modelo estrutural de UXON, que preserva a semântica

provida por HCI-ON. Dessa forma, a conceituação de UXON é utilizada para atribuir semântica aos dados.

A Figura 5 apresenta o modelo conceitual estrutural de UXON. Foram adicionadas ao modelo linhas pontilhadas para separar conceitos baseados em diferentes ontologias de HCI-ON e indicar as ontologias de origem dos conceitos apresentados no modelo conceitual estrutural de UXON. Uma vez que os conceitos do fragmento de HCI-ON utilizado como base para UXON foram explicados no Capítulo 2, após a figura são apresentadas algumas informações sobre o mapeamento dos dados do arquivo de log de interação para os conceitos do modelo conceitual estrutural de UXON e sobre algumas das adaptações feitas no modelo conceitual de HCI-ON para criar no modelo conceitual estrutural de UXON.

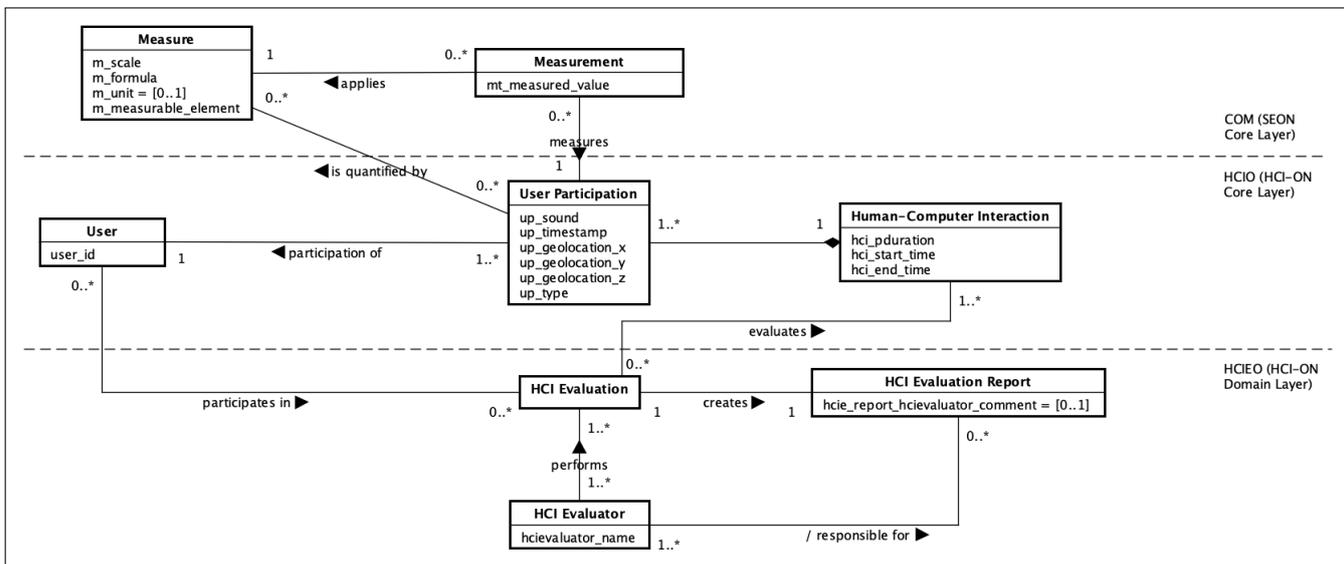


Figura 5 – Modelo Conceitual da UXON, criado com base em um extrato de HCI-ON (COSTA et al., 2020; COSTA, 2021)

O cabeçalho do log (primeira linha do log) de interação foi mapeado em conceitos e/ou atributos do modelo conceitual. Por exemplo, *pessoa* é um usuário (*User*) que possui um identificador (*user_id*). As interações de mudança de som e de geolocalização da *pessoa* são eventos de participação da *pessoa* (i.e., *User Participation*). O *som*, *hora*, *x*, *y* e *z* foram respectivamente mapeados em atributos de *User Participation*, que foram criados para armazenar dados acerca da participação do usuário: *up_sound* (identificador do som emitido), *up_timestamp* (instante de tempo em que ocorreu a interação), *up_geolocation_x*, *up_geolocation_y*, e *up_geolocation_z* (geolocalização da pessoa).

O conceito *Human-Computer Interaction* representa o conjunto de todas as interações de uma pessoa em uma sessão de composição musical (i.e., todas as *User Participations* daquele *User* naquela sessão) e contém atributos de hora e duração da sessão (*hci_start_time*, *hci_end_time* e *hci_pduration*). Essa informação é obtida no log através da hora da primeira e última interação da sessão e é necessária para cálculo da métrica de

interatividade. O atributo *hci_start_time* armazena a hora em que iniciou a sessão, a qual é registrada na segunda linha do log. O atributo *hci_end_time* armazena a hora em que a sessão encerrou, a qual é registrada na última linha do log. A subtração entre o tempo inicial e o tempo final é a duração da sessão, que é registrada no atributo *hci_pduration*.

Os demais conceitos do modelo conceitual não têm mapeamento direto com informações do log de interações. Eles representam conceitos necessários para que sejam armazenados dados para a realização de avaliação de UX baseada em medições.

Os conceitos *Scale*, *Measure Unit* e *Measurement Formula* presentes em HCI-ON (vide Figura 2) foram representados como atributos (*m_scale*, *m_formula* e *m_unit*) de *Measure*, classe necessária para armazenar cada uma das métricas de UX consideradas neste trabalho (Seção 3.1.1). Além disso, o conceito *Measurable Element* também foi representado como um atributo de *Measure* (*m_measurable_element*), pois, embora um mesmo elemento mensurável possa ser quantificado por mais de uma medida, no contexto deste trabalho, um elemento mensurável (e.g., comportamento, interatividade) é tratado em apenas uma medida. *User Participation* é uma entidade mensurável, que tem suas características (i.e., elementos mensuráveis) quantificados por *Measures*. Uma medição (*Measurement*) aplica para uma medida (*Measure*) e obtém um valor medido. O conceito *Measured Value* presente em HCI-ON foi representado como o atributo *mt_measured_value* de *Measurement*.

Os conceitos *HCI Evaluation*, *HCI Evaluator* e *HCI Evaluation Report* representam respectivamente o ato de avaliação em si, o avaliador que realizou a avaliação e o relatório resultante. O nome do avaliador (*HCI Evaluator*) é armazenado no atributo *hcievaluator_name* e a sua análise é armazenada no atributo *hcie_report_hcievaluator_comment* do relatório final da avaliação (*HCI Evaluation Report*).

3.2 Projeto de Sistema

A fase de projeto tem como objetivo produzir uma solução para o problema especificado e modelado durante as fases de levantamento e análise de requisitos, integrando a tecnologia aos requisitos e projetando o que será construído na fase de implementação (BARCELLOS, 2018).

UXON foi desenvolvido utilizando-se as tecnologias apresentadas na Seção 2.4. Considerando-se as abordagens de aplicação de ontologias na Engenharia de Software (Seção 2.3), foi adotada a *Ontology-Based Architecture* (OBA), que ocorre no tempo de execução (*run-time*). Na OBA a ontologia é o próprio artefato computacional (ontologia operacional) e representa o artefato primário do *run-time*, além de ser central na lógica da aplicação. Para isso, o modelo conceitual de UXON (Figura 5) foi implementado na linguagem OWL, para ser processado por máquina, conforme será apresentado na seção

3.2.1.

3.2.1 Ontologia Operacional

O processo de transformar o modelo conceitual de UXON em uma ontologia operacional foi realizado pela coorientadora deste trabalho, no contexto de sua pesquisa de doutorado. Basicamente, o modelo conceitual de UXON foi representado na ferramenta Protégé³, conforme apresentado na Figura 6.

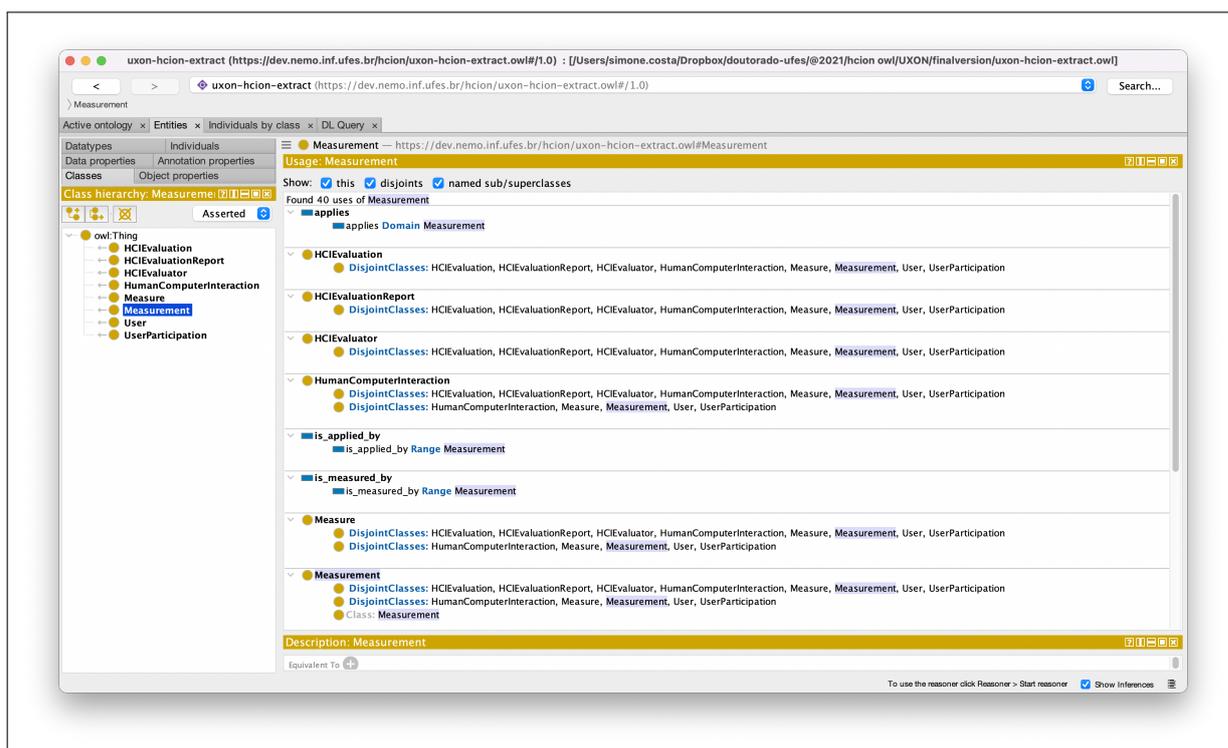


Figura 6 – Modelo conceitual de UXON na ferramenta Protégé

Após o modelo ser representado no Protégé, ele foi salvo no formato OWL e disponibilizado para uso no seguinte link: <https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl>. A Figura 7 apresenta um trecho do OWL que representa as classes *Measurement* e *User* do modelo conceitual do UXON.

```
<!-- https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#Measurement -->
<owl:Class rdf:about="https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#Measurement"/>
<!-- https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#User -->
<owl:Class rdf:about="https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#User"/>
<!-- https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#UserParticipation -->
```

Figura 7 – Exemplo de classes da ontologia operacional

A Figura 8 apresenta a relação *is_measured_by* (*object property*) entre as classes *UserParticipation* e *Measurement*, e a sua relação inversa *measures*.

³ Protégé é um editor de ontologias gratuito e de código aberto, versão 5.5.0.

```

<!-- https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#is_measured_by -->
▼<owl:ObjectProperty rdf:about="https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#is_measured_by">
  <owl:inverseOf rdf:resource="https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#measures"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#UserParticipation"/>
  <rdfs:range rdf:resource="https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#Measurement"/>
</owl:ObjectProperty>

```

Figura 8 – *Object Property: is_measured_by*

A Figura 9 apresenta, em OWL, o atributo (*data property* em OWL) *mt_measured_value* da classe *Measurement* do modelo conceitual do UXON e define seu tipo de dado como *decimal*.

```

<!-- https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#mt_measured_value -->
▼<owl:DatatypeProperty rdf:about="https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#mt_measured_value">
  <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#FunctionalProperty"/>
  <rdfs:domain rdf:resource="https://dev.nemo.inf.ufes.br/hcion/uxon-hcion-extract.owl#Measurement"/>
  <rdfs:range rdf:resource="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#decimal"/>
</owl:DatatypeProperty>

```

Figura 9 – *Data Property: mt_measured_value*.

As Figuras 8 e 9, ilustram como as tecnologias da Web Semântica (OWL, RDF, etc) permitem representar o conhecimento no formato de tripla:

Subject -> Predicate -> Object

A Figura 8, em triplas seria:

UserParticipation -> is_measured_by -> Measurement

Measurement -> measures -> UserParticipation (relação inversa)

A Figura 9, em triplas seria:

Measurement -> mt_measured_value -> decimal

3.2.2 Arquitetura de Software

A arquitetura de software define elementos de software e apresenta informações sobre como eles se relacionam entre si. Uma arquitetura pode conter vários tipos de estrutura, com diferentes tipos de elementos e de relacionamentos entre eles (BARCELLOS, 2018).

UXON foi desenvolvido seguindo um paradigma cliente-servidor. No projeto de arquitetura do sistema, optou-se, portanto, por dividi-lo em dois subsistemas, um que é executado no cliente e outro que é executado no servidor, conforme apresentado na Figura 10.

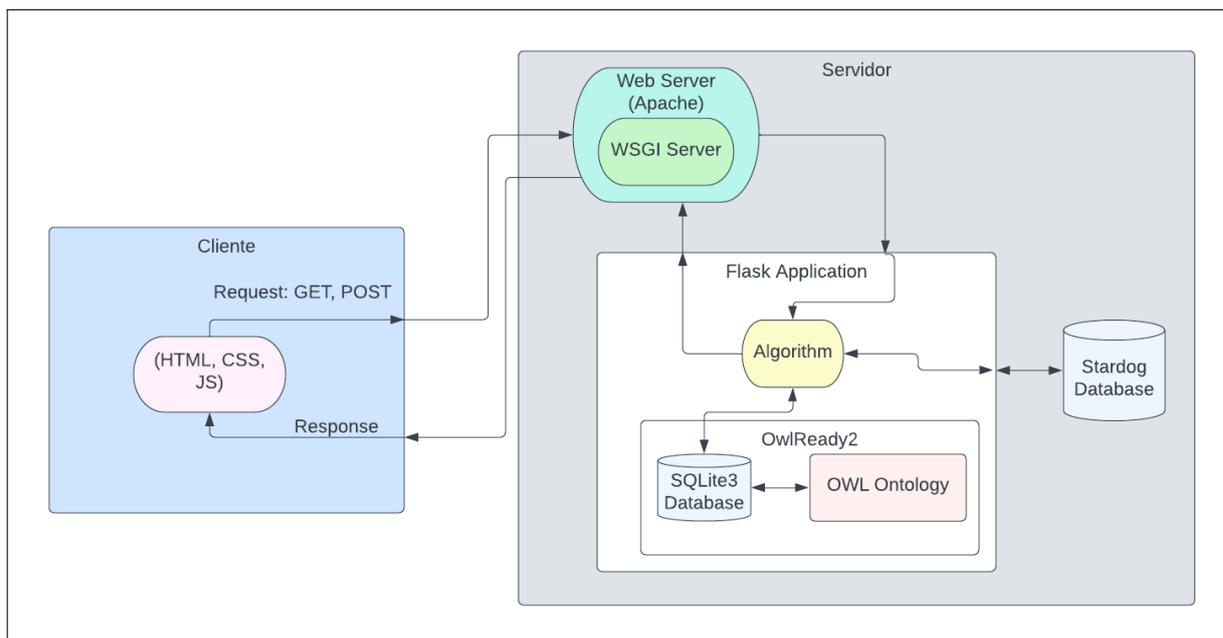


Figura 10 – Arquitetura de UXON

O subsistema do servidor (*back-end*) possui o mecanismo de comunicação entre o cliente e o servidor, utilizando o servidor *web* Apache com o módulo WSGI. A lógica de negócio do sistema é desenvolvida na linguagem Python e utiliza o *microframework* Flask e a biblioteca OwlReady2. A persistência dos dados é realizada utilizando-se o Stardog, banco de dados em formato de grafo de conhecimento.

O subsistema do cliente (*front-end*) adota o uso de templates que utilizam as linguagens de marcação (HTML), estilo (CSS) e de programação (JavaScript) e o mecanismo de template (Jinja2).

3.2.2.1 Back-end

Neste projeto, a linguagem de programação Python foi adotada para a implementação do sistema.

Para o desenvolvimento de uma solução para um sistema baseado em ontologia foi definido o uso da biblioteca OwlReady2. OwlReady2 é implementada na linguagem Python e foi proposta para a programação orientada a ontologias. Essa biblioteca permite a manipulação direta das entidades da ontologia em formato OWL. Além disso, ela utiliza um banco de dados de triplas (SQLite3) que é otimizado para a manipulação de ontologias extensas. O banco de triplas é armazenado em memória RAM e é utilizado para o processamento dos dados de entrada (log de interação).

O *microframework* Flask, também implementado em Python, é baseado no kit de ferramentas Werkzeug WSGI (*Web Server Gateway Interface*), que é uma biblioteca no padrão WSGI e implementa funções web como requests. WSGI é uma especificação

que descreve como um servidor web se comunica com aplicações web e é um padrão para aplicações em Python. O Flask também utiliza a biblioteca Jinja2, um mecanismo de template para a linguagem Python, que permite gerar trechos em HTML através de código em Python.

Para a lógica de negócio, os dados do arquivo de log precisaram passar por um processo de ETL (*Extract, Transform, Load*)⁴. A partir do arquivo de log, a biblioteca OWLReady2 permitiu instanciar na ontologia os dados obtidos conforme o mapeamento dos dados do log no modelo conceitual (*Extract*) e permitiu manipular essas instâncias da ontologia. Durante o processamento do log as métricas são calculadas com o auxílio dessa biblioteca e de funções e estruturas de dados do Python (*Transform*) e por fim são persistidos (*Load*).

A persistência dos dados (ontologia operacional) é realizada no Stardog, um banco de dados que armazena informação como um grafo de conhecimento (*RDF Graphs*). Para manipulação do Stardog, utilizou-se a biblioteca Pystardog. A Pystardog é a biblioteca em Python que permite a conexão da aplicação com o banco de dados, viabilizando o armazenamento e consulta nos dados. A consulta é realizada utilizando a linguagem SPARQL

Por fim, para a implementação do *back-end* também foi utilizado o servidor *web* Apache, que realiza a comunicação entre cliente e servidor, com o apoio do módulo *mod_wsgi* que fornece uma interface compatível com WSGI para hospedar aplicativos web baseados em Python.

3.2.2.2 *Front-end*

No subsistema do cliente estão presentes as páginas do sistema, nas quais o usuário (avaliador) interage para realizar suas atividades de avaliação. As páginas são templates que utilizam: HTML, para disposição dos itens na tela; CSS, para estilização das páginas; e JavaScript, responsável por disparar as requisições para o *back-end* e tratar as interações do usuário com a interface do sistema, como por exemplo, o envio de formulários.

A biblioteca Jinja2, presente no *microframework* Flask, é utilizada como diretivas especiais nos arquivos de templates e possibilita que códigos Python gerem trechos em HTML que preenchem essas diretivas. Assim, o retorno das funções da aplicação em Flask altera diretamente os templates de maneira dinâmica, primeiro passando pelo servidor *web* Apache e, em seguida, retornando ao cliente a página HTML.

⁴ Extração, transformação e carregamento de dados.

3.3 O Sistema UXON

Nesta seção são apresentadas as telas do sistema assim como uma descrição do fluxo de interação entre cada uma delas. Na descrição, o termo “usuário” será utilizado para se referir ao avaliador que está utilizando o sistema. O termo “participante” será utilizado para se referir à pessoa que participou da sessão de composição musical utilizando o aplicativo Compomus.

Ao acessar o endereço *web*⁵, no qual o UXON está hospedado, o usuário é direcionado para a página inicial (Figura 11). Nessa página é possível fazer o *upload* do arquivo de log de interações que foi gerado durante o uso do Compomus e que deve estar no formato CSV.

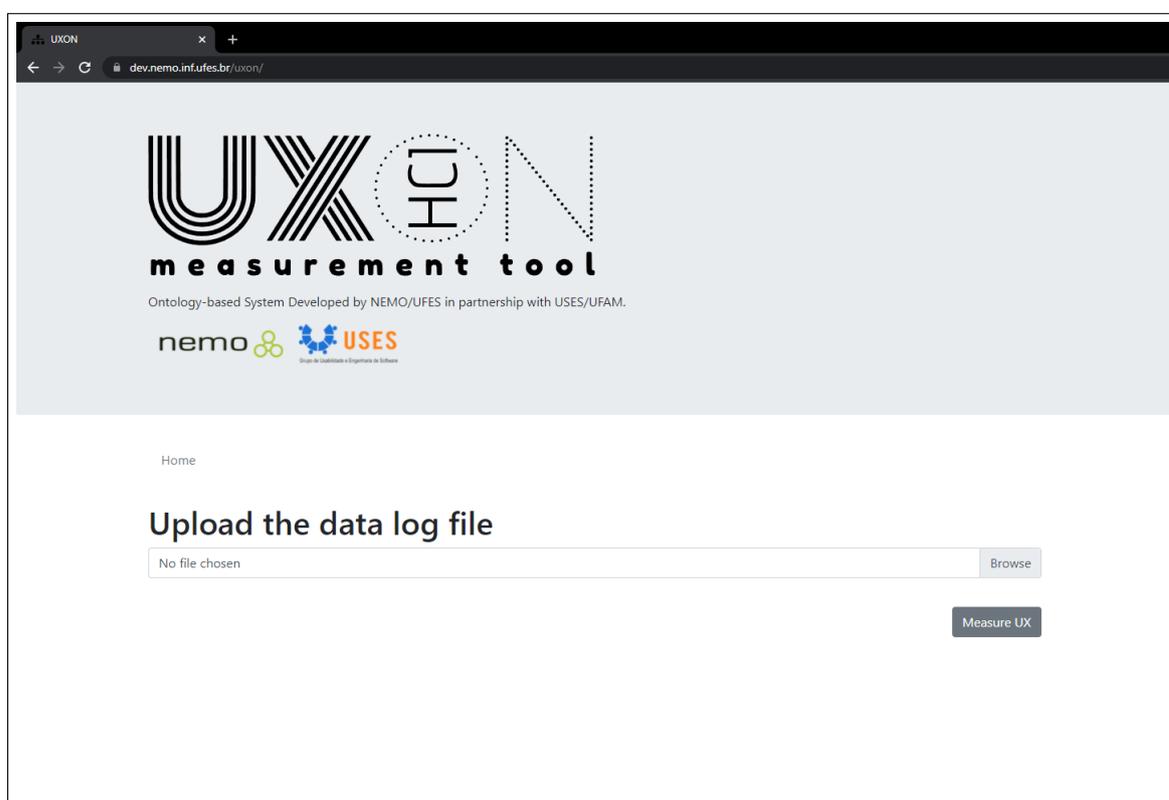
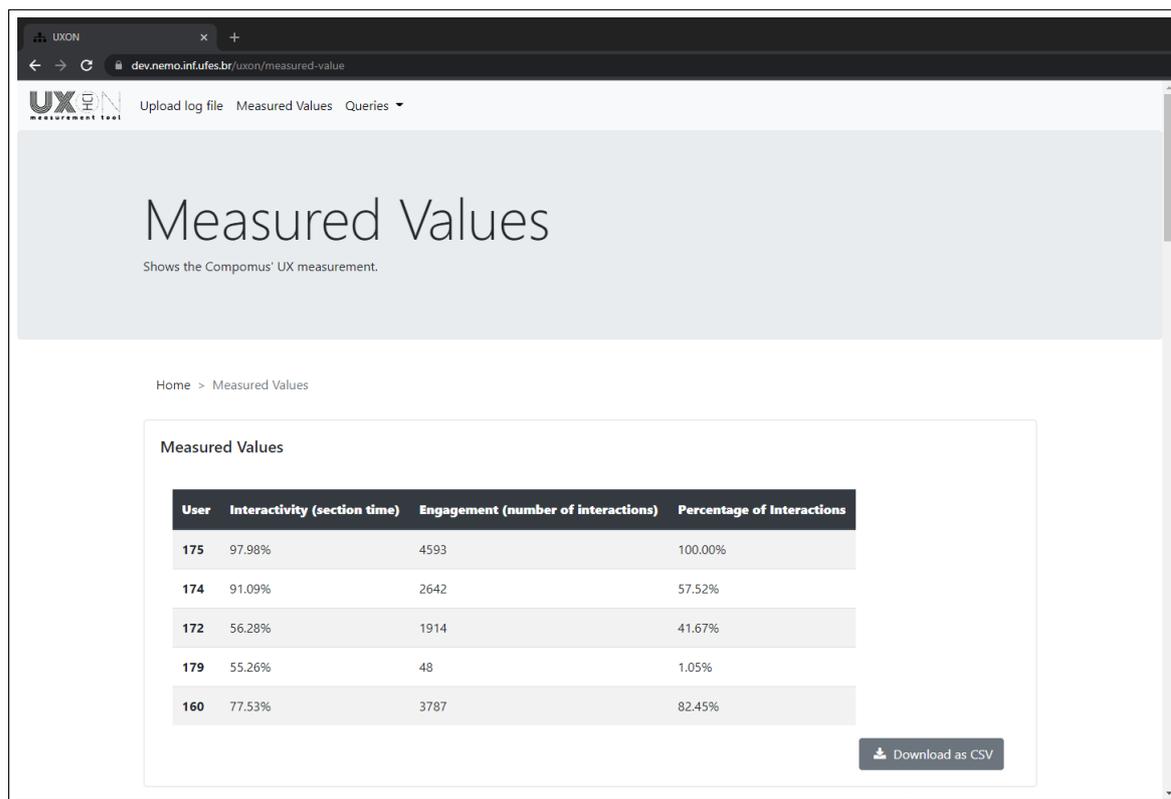


Figura 11 – Página inicial

Para isso, é necessário clicar no botão “*Browse*” que abrirá uma tela de *pop-up*⁶ que possibilita a escolha do arquivo presente no computador do usuário. Em seguida, deve-se clicar no botão “*Measure UX*”, responsável por disparar o carregamento e processamento dos dados do log de interação para cálculo das métricas e direcionar o usuário para a página *Measured Values* (Figura 12). A página de *Measured Values* apresenta os resultados obtidos dos cálculos das métricas de avaliação de UX, sob diferentes formas de apresentação. Por exemplo, sob a forma de tabela (Figura 12) ou gráficos (Figuras 13 a 16).

⁵ <https://dev.nemo.inf.ufes.br/uxon/>

⁶ Tela padrão de *pop-up* para upload de arquivo, não apresentada no texto.



Measured Values

Shows the Compomus' UX measurement.

Home > Measured Values

| User | Interactivity (section time) | Engagement (number of interactions) | Percentage of Interactions |
|------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 175 | 97.98% | 4593 | 100.00% |
| 174 | 91.09% | 2642 | 57.52% |
| 172 | 56.28% | 1914 | 41.67% |
| 179 | 55.26% | 48 | 1.05% |
| 160 | 77.53% | 3787 | 82.45% |

Download as CSV

Figura 12 – Página *Measured Values* - Tabela com valores calculados para as métricas

A Tabela apresentada na Figura 12 contém quatro colunas. A primeira coluna representa o participante através de seu id (*User*). As próximas três colunas, se referem a cada uma das métricas de UX aplicadas nos dados do log de interação, a saber: *Interactivity (section time)*, representa o resultado da métrica de Interatividade; *Engagement (number of interactions)*, representa o resultado da métrica de Comportamento; e *Percentage of Interactions*, representa o resultado da métrica de percentual de interações. Esses dados também são apresentados na forma de gráficos (Figura 13).

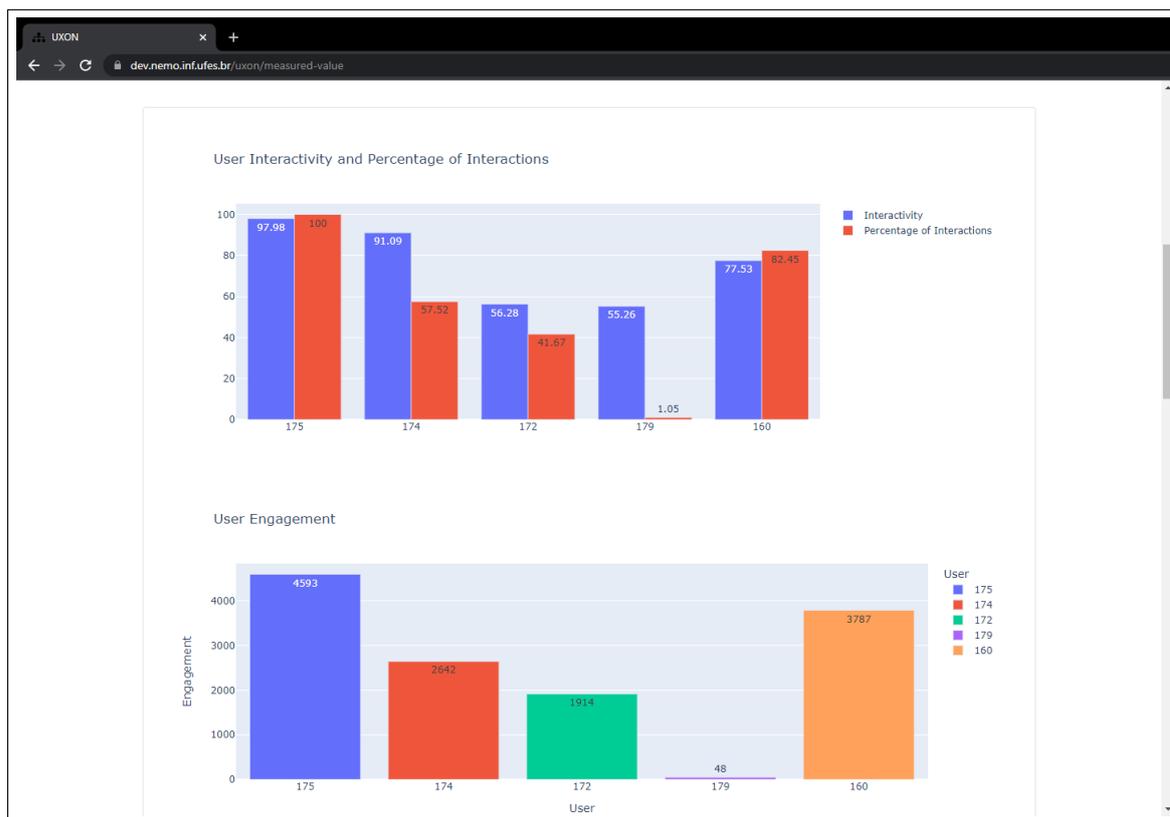


Figura 13 – Página *Measured Values* - Gráficos com valores calculados para as métricas

Na Figura 13, o primeiro gráfico (*User Interactivity and Percentage of Interactions*) representa as métricas de Interatividade e o percentual de interações tomando como *benchmark* o participante que mais interagiu. Já o segundo gráfico (*User Engagement*) representa a métrica de Comportamento que se refere ao engajamento dos participantes.

Há dois outros gráficos, apresentados na Figura 14: o primeiro (*Top 5 Sound Usage*) representa o ranking dos cinco sons mais utilizados pelos participantes; já o segundo (*Top 5 Users*) representa o ranking dos cinco participantes que mais interagiram na sessão.

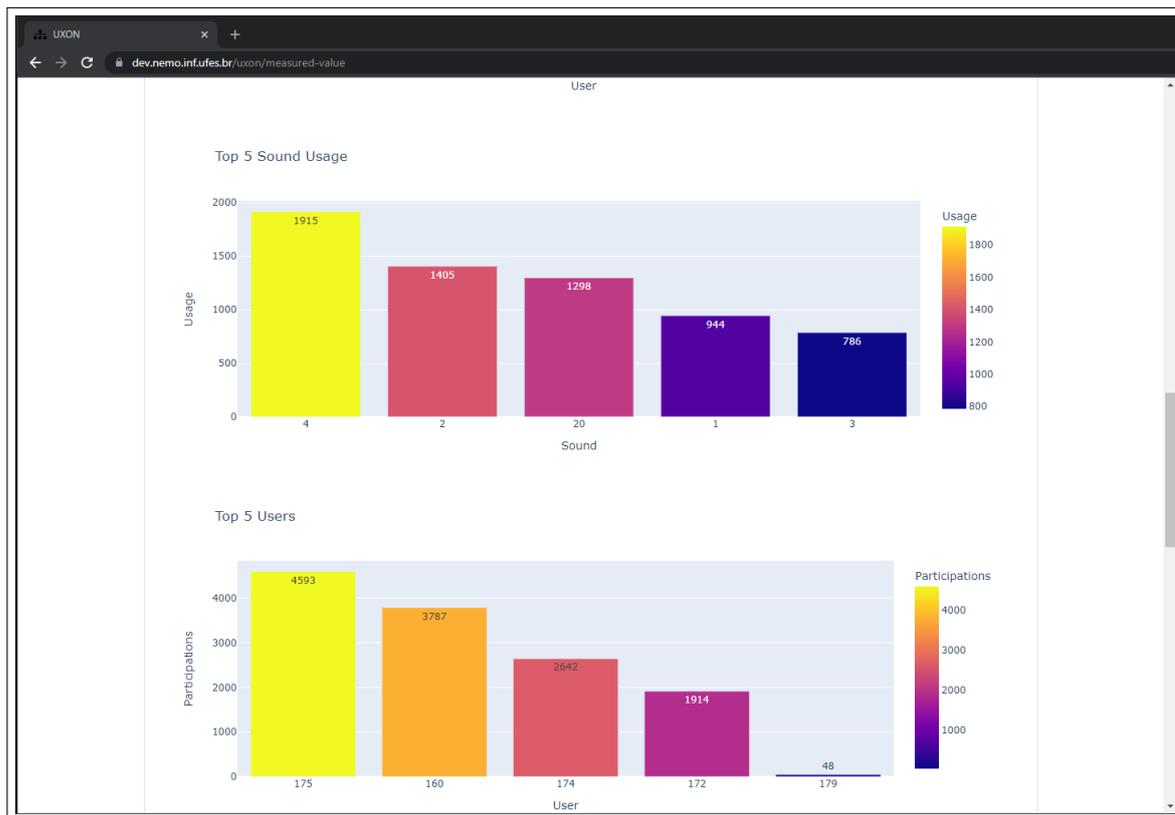


Figura 14 – Página *Measured Values* - Gráficos com ranking de participantes e sons

Ainda na página de *Measured Values* é apresentada a informação de geolocalização do participante no instante de tempo no qual houve uma mudança de som ou de geolocalização. Essa informação é apresentada na forma de um gráfico de geolocalização (*Simple Graph*, Figura 15), que representa o ambiente de composição musical (estrutura dimensional). Além disso, permite o usuário obter informações de cada uma das interações do participante na sessão.

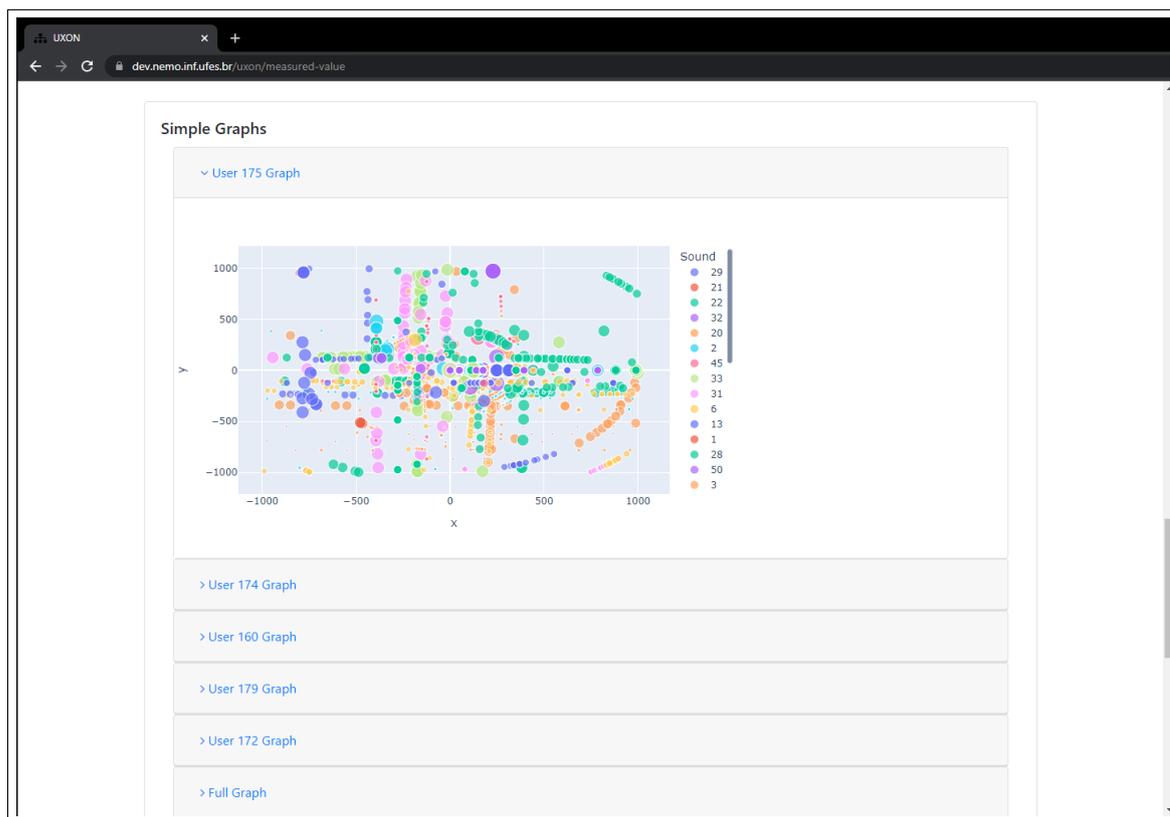


Figura 15 – Página *Measured Values* - Gráficos de sons emitidos por participante

Visando a uma visualização dessas informações mais fidedigna à realidade (ao ambiente de composição musical) e para contribuir na análise da UX, esses gráficos também são apresentados em formato interativo (*Interactive Graphs*, Figura 16). Esse gráfico segue a estrutura dimensional já descrita e agrega a possibilidade de o usuário visualizar a trajetória real do participante no ambiente durante a sua participação na sessão através da movimentação dinâmica da bolinha, que indica o percurso feito pelo participante, e da mudança de cor da bolinha, que indica a mudança de som pelo participante.

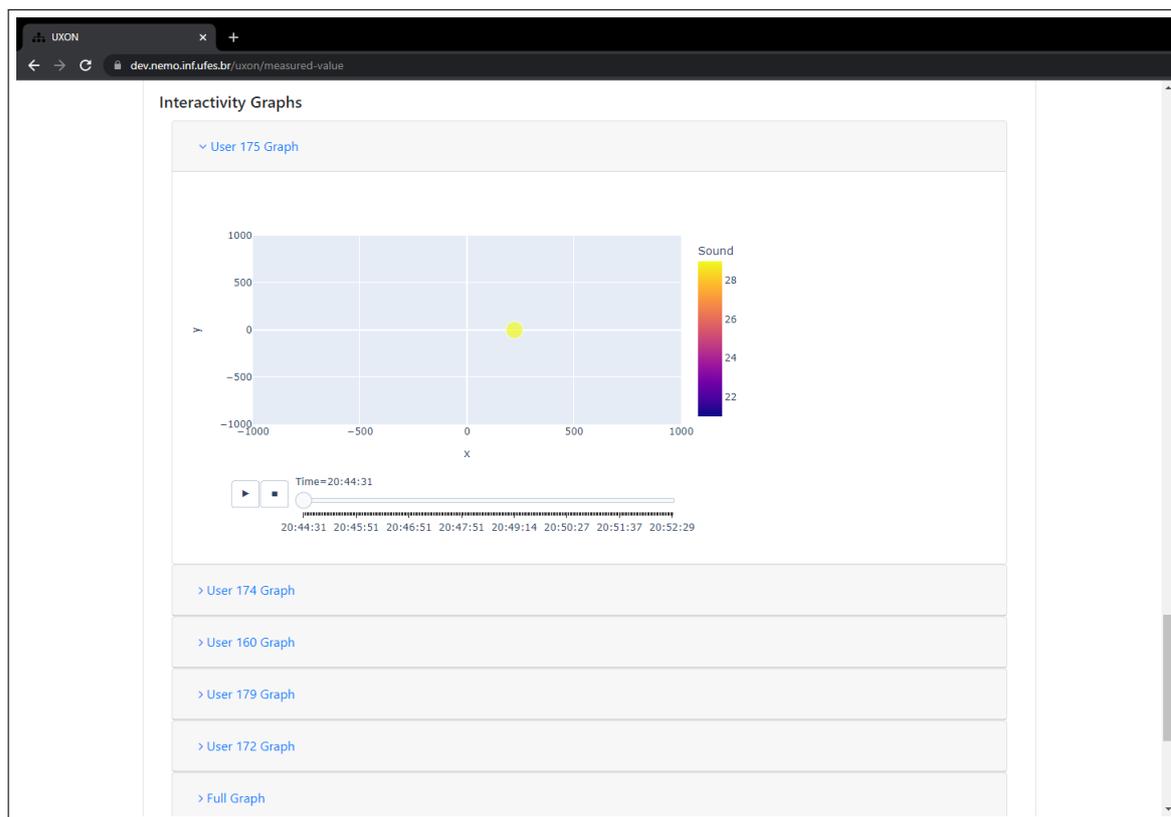
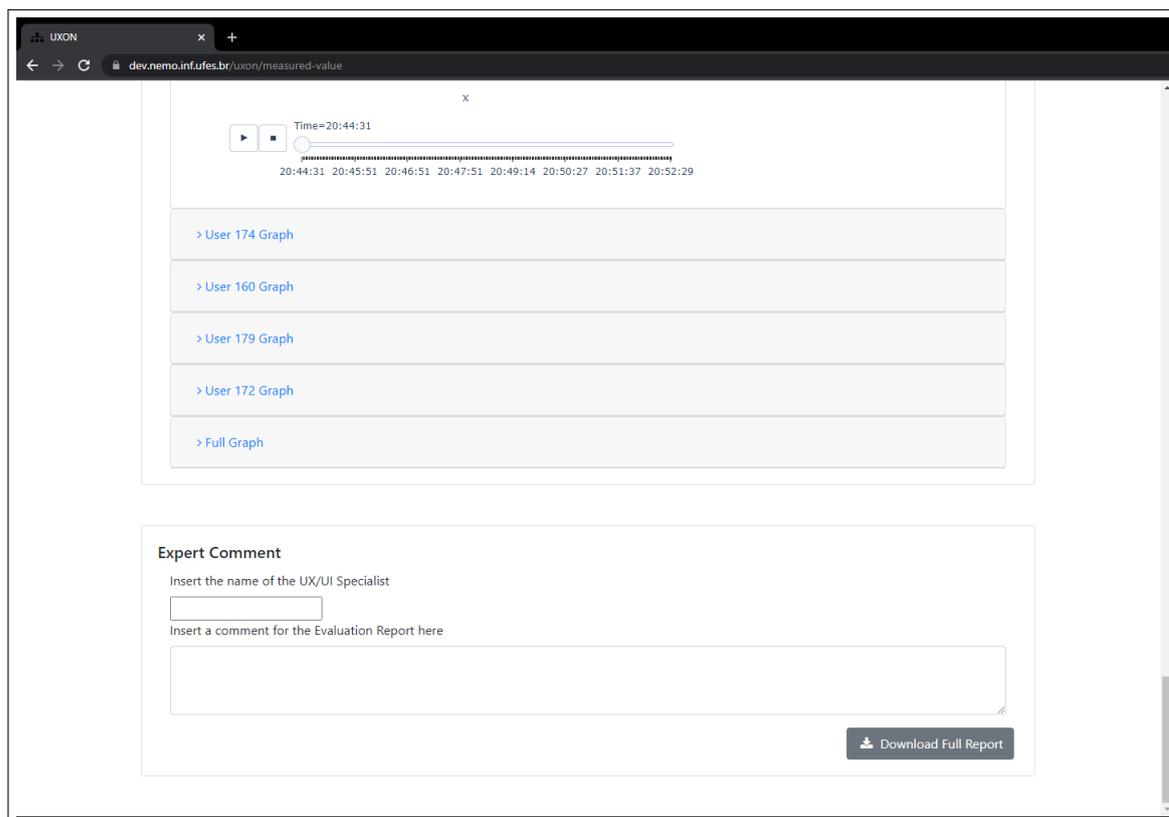


Figura 16 – Página *Measured Values* - Gráficos interativos de sons emitidos por participante

Em ambos os gráficos (Figura 15 e Figura 16) o usuário pode obter informações sobre a geolocalização e som emitido pelo participante em cada ocorrência de interação (*hora*). Além disso, esses gráficos são disponibilizados para cada um dos participantes da sessão (representado pelo id do participante) como também em uma versão (“*Full Graph*”) contendo todos os participantes da sessão.

Por fim, no final da página de *Measured Values* (Figura 17), o usuário pode acessar o relatório da avaliação de UX gerado por UXON, incluir informações (seu nome e comentários) e fazer o download do arquivo.

Figura 17 – Página *Measured Values* - Comentário do especialista

Conforme apresentado na Figura 17, em *Expert Comment* o usuário pode se identificar e escrever um comentário (campos *UI/UX Specialist* e *Evaluation Comment*) referente à sua análise da avaliação de UX do Compomus.

O relatório final da avaliação contém todas⁷ as informações apresentadas na página de *Measured Values* e é disponibilizado em formato PDF. Esse relatório é gerado e disponibilizado para *download* ao se clicar no botão “*Download Full Report*”, que dispara a abertura de uma janela de *pop-up*⁸. Além disso, o usuário também pode fazer o *download* de todos os gráficos⁹ (em formato PNG) e da tabela da Figura 12 (em formato CSV).

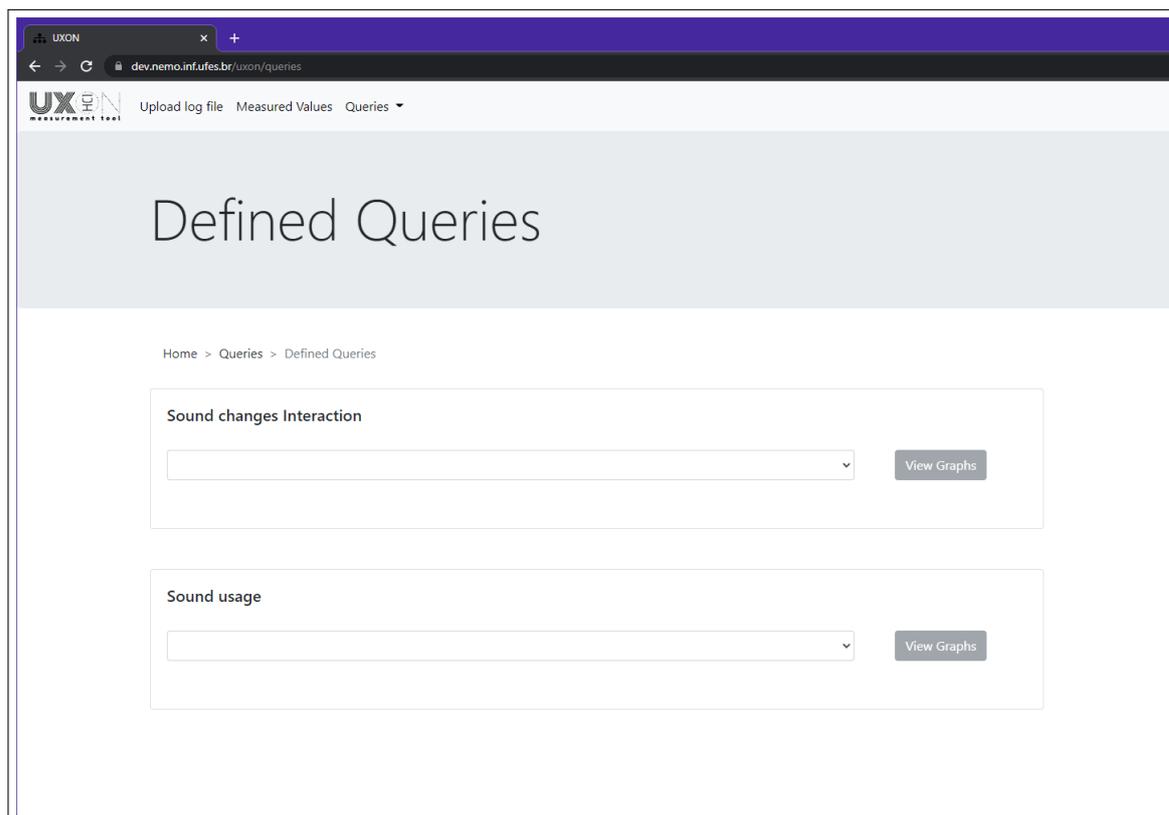
A partir da página de *Measured Values* é possível acessar duas outras páginas de consulta presentes no sistema: *Defined Queries* (Figura 18) e *Custom Queries* (Figura 22).

A página de *Defined Queries* possui duas opções de consultas definidas (Figura 18).

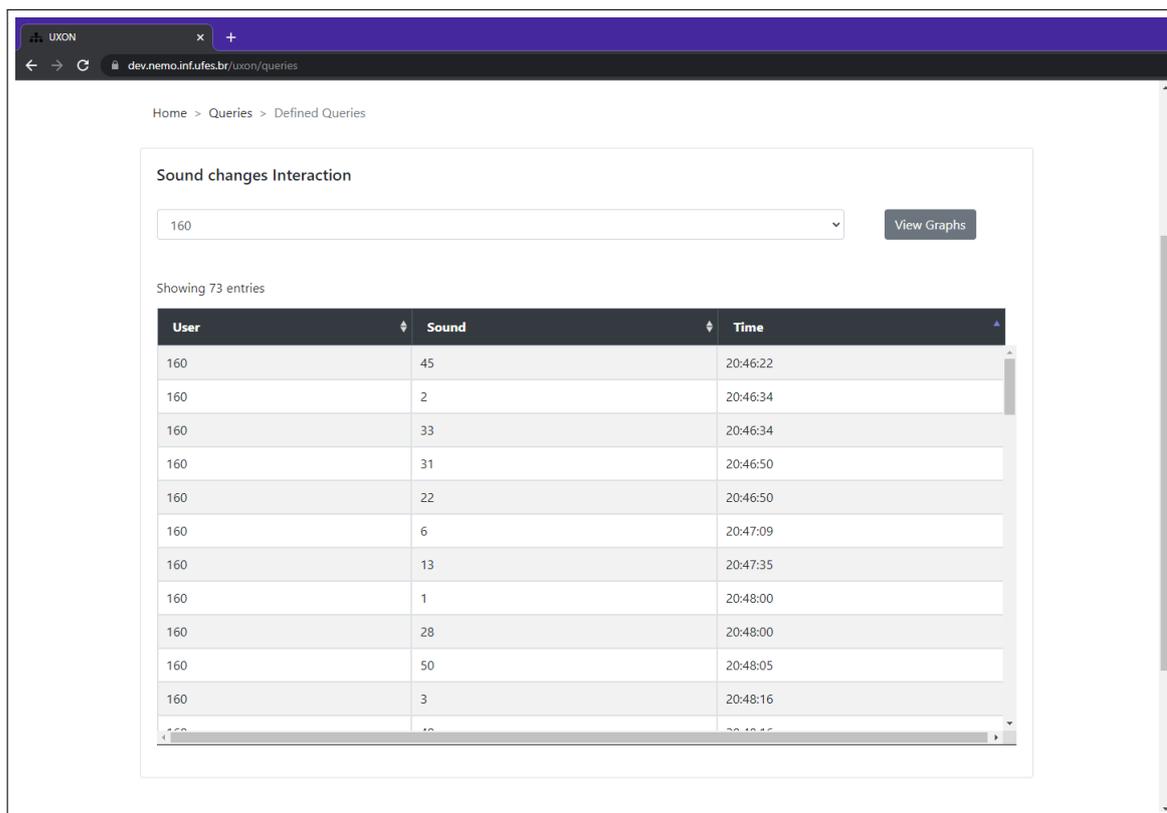
⁷ Exceto para os *Interactivity Graphs*, devido à formatação PDF em que o relatório é gerado.

⁸ Tela padrão de *pop-up* para *download* de arquivo, não apresentada no texto.

⁹ Exceto para os *Interactivity Graphs*, devido à formatação PNG.

Figura 18 – Página *Defined Queries*.

Conforme apresentado na Figura 18, a primeira consulta (*Sound changes Interaction*) é relacionada às interações de mudança de som dos participantes. Nessa consulta, o usuário deve selecionar o participante, no campo de seleção do formulário. Essa seleção é pelo id do participante, também sendo possível selecionar todos os participantes. Após a seleção, uma tabela que representa todas as interações de mudança de som do participante selecionado é automaticamente apresentada na página (Figura 19).



The screenshot shows a web browser window with the URL `dev.nemo.inf.ufes.br/uxon/queries`. The page title is "Defined Queries". Below the title, there is a search bar with the value "160" and a "View Graphs" button. The table below shows 73 entries, with the first 12 rows visible:

| User | Sound | Time |
|------|-------|----------|
| 160 | 45 | 20:46:22 |
| 160 | 2 | 20:46:34 |
| 160 | 33 | 20:46:34 |
| 160 | 31 | 20:46:50 |
| 160 | 22 | 20:46:50 |
| 160 | 6 | 20:47:09 |
| 160 | 13 | 20:47:35 |
| 160 | 1 | 20:48:00 |
| 160 | 28 | 20:48:00 |
| 160 | 50 | 20:48:05 |
| 160 | 3 | 20:48:16 |
| 160 | 15 | 20:48:22 |

Figura 19 – Página *Defined Queries* - Primeira consulta definida.

A tabela apresentada na Figura 19 contém três colunas: *User*, que representa o id de cada participante; *Sound*, que representa o som emitido naquela interação; e *Time*, que representa a hora da ocorrência da interação. O usuário também tem a opção de visualizar esses dados (tabela) sob a forma de gráfico de geolocalização. Para isso, deve-se clicar em “*View Graphs*” (Figura 19), para que o gráfico seja apresentado na página (Figura 20).

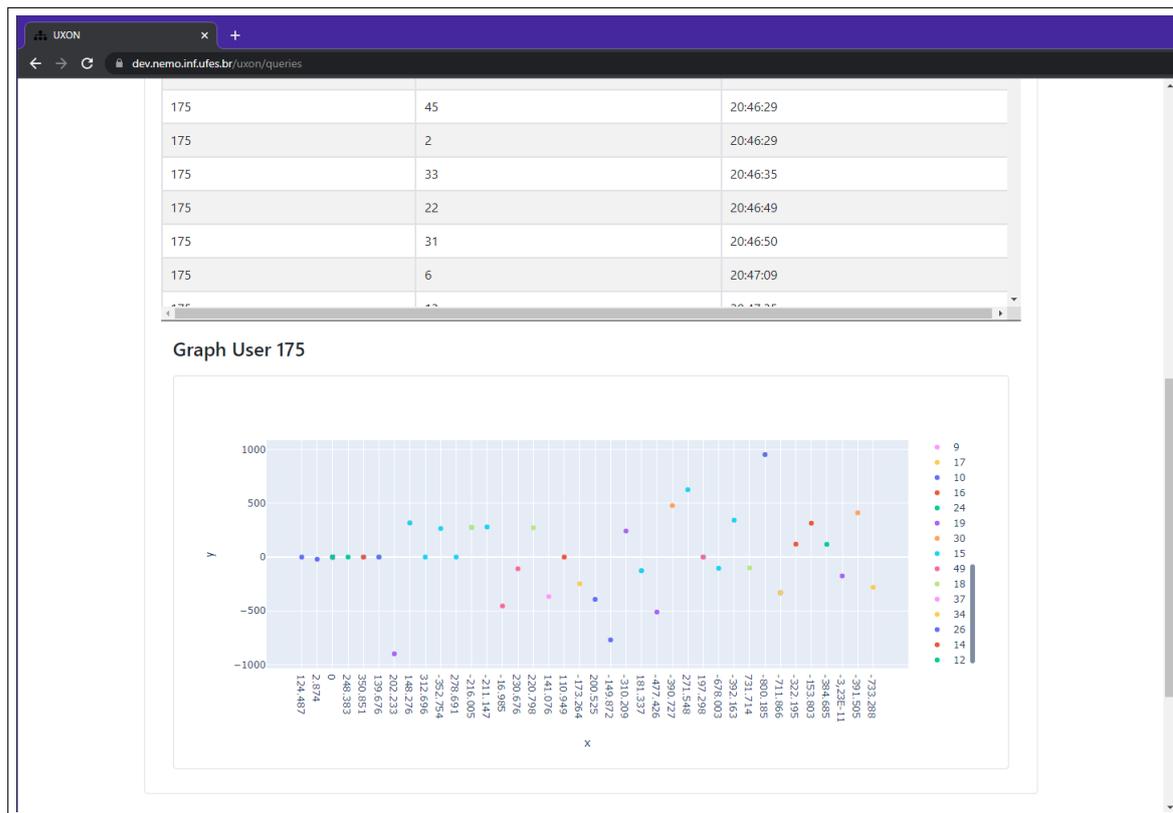


Figura 20 – Página *Defined Queries* - Gráfico da primeira consulta definida.

A segunda consulta (Figura 18, *Sound Usage*) é relacionada ao uso de cada som existente no Compomus pelos participantes. Nessa consulta, o usuário deve selecionar o som no campo de seleção do formulário. Essa seleção é pelo id do som, também sendo possível selecionar todos os sons existentes. Após a seleção, uma tabela que representa a quantidade de vezes que cada participante emitiu o som selecionado é automaticamente apresentada na página (Figura 21).

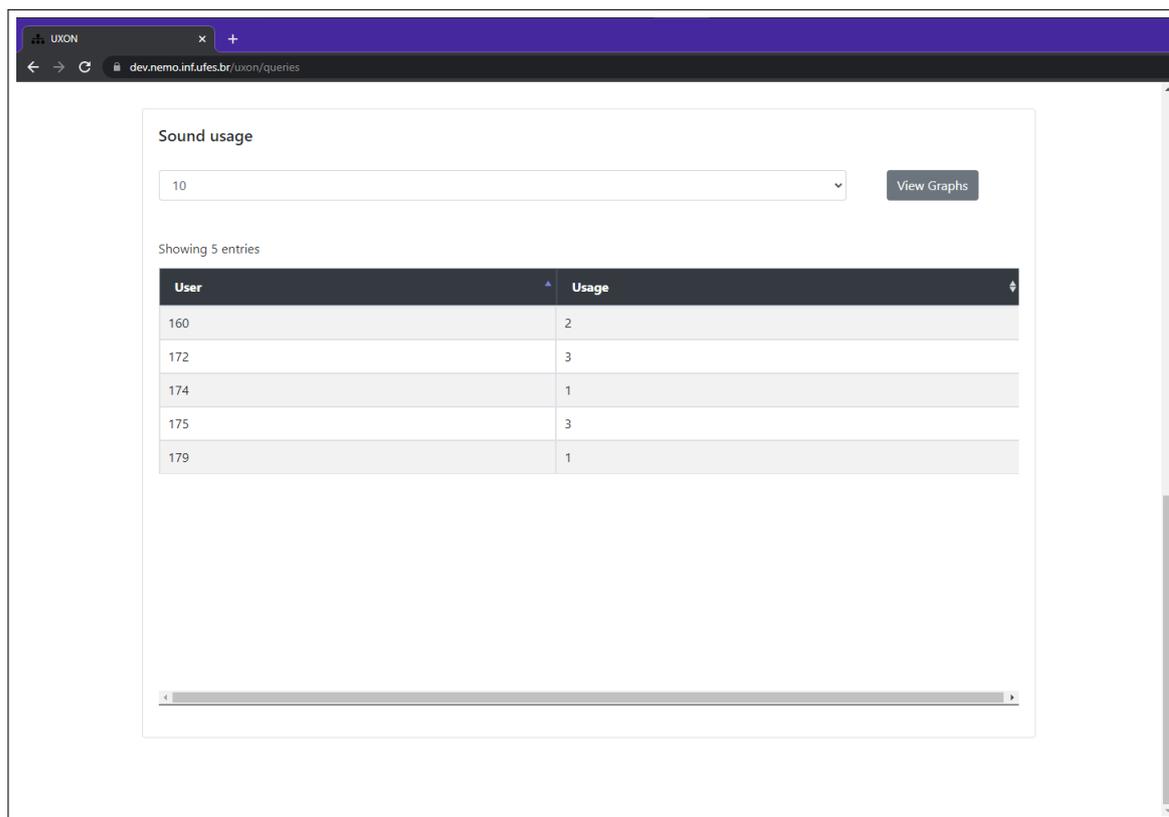


Figura 21 – Página *Defined Queries* - Segunda consulta definida.

A tabela apresentada na Figura 21 contém duas colunas: *User*, que representa o id do participante; *Usage*, que representa o número de vezes que o som selecionado foi emitido. O usuário também tem a opção de visualizar esses dados (tabela) sob a forma de gráfico de geolocalização. Para isso, deve-se clicar em “*View Graphs*” (Figura 21), para que o gráfico seja apresentado na página (Figura 22).

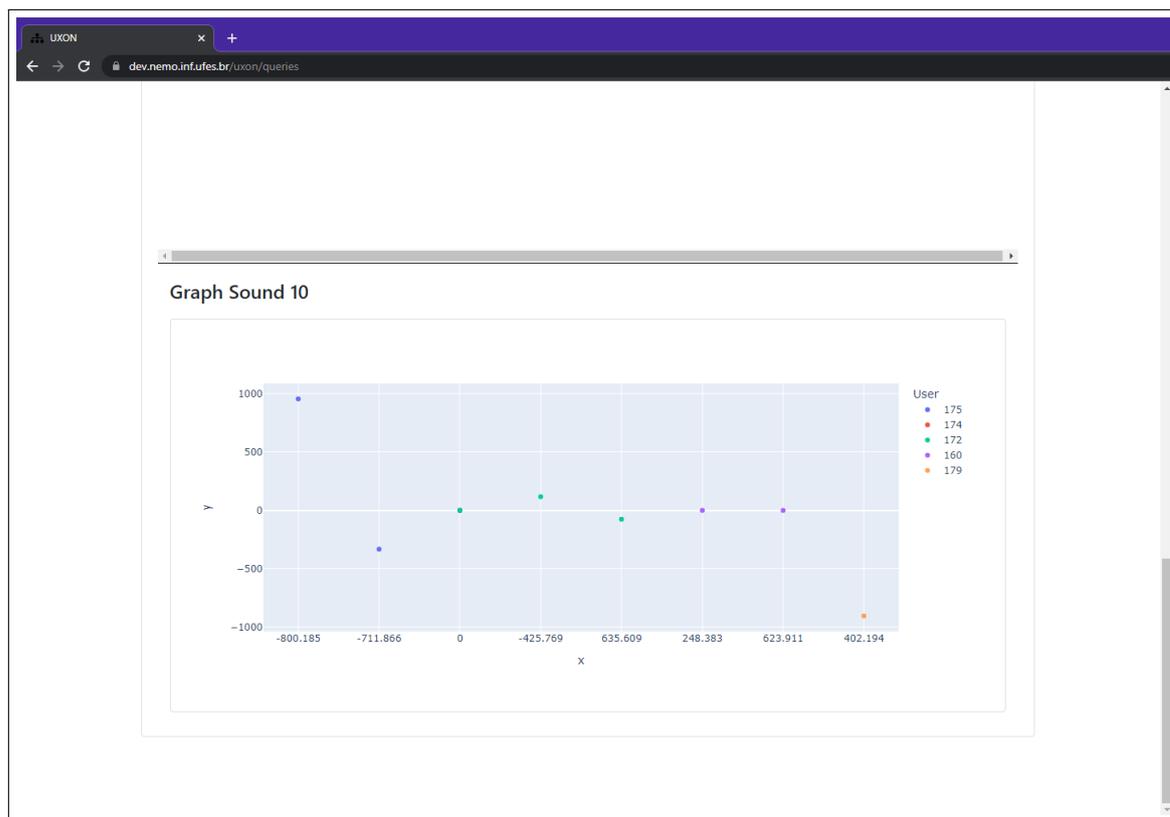


Figura 22 – Página *Defined Queries* - Gráfico da segunda consulta definida.

A página Custom Queries possui duas opções de consultas personalizadas (Figura 23).

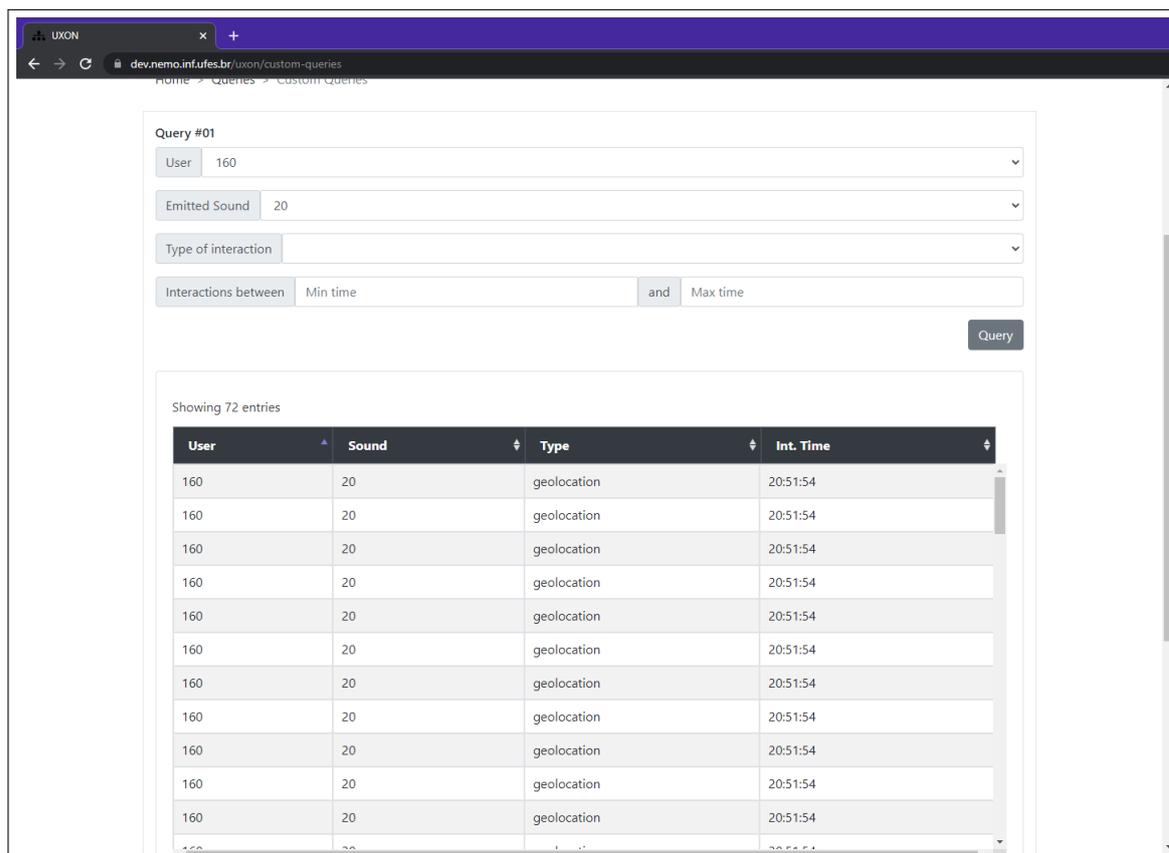
The screenshot shows a web browser window with the URL `dev.nemo.inf.ufes.br/uxon/custom-queries`. The page header includes the UXON logo and navigation links: 'Upload log file', 'Measured Values', and 'Queries'. The main heading is 'Custom Queries'. Below this, a breadcrumb trail reads 'Home > Queries > Custom Queries'. Two query configuration forms are visible. The first, 'Query #01', includes dropdown menus for 'User', 'Emitted Sound', and 'Type of interaction', and a range selector for 'Interactions between' with 'Min time' and 'Max time' inputs. The second, 'Query #02', includes dropdowns for 'User' and 'Type of interaction', and a range selector for 'Number of interactions between' with 'Min interactions' and 'Max interactions' inputs. Both forms feature a 'Query' button.

Figura 23 – Página *Custom Queries*.

Conforme apresentado na Figura 23, a primeira consulta (*Query #01*) é relacionada a todas as interações dos participantes na sessão. Nessa consulta, é permitido que o usuário selecione múltiplos campos do formulário: id do participante, id do som emitido, tipo de interação e hora da interação. A segunda consulta (*Query #02*) também é de seleção múltipla: id do participante, tipo de interação e um intervalo de quantidade de interações.

Para realizar ambas as consultas o usuário deve selecionar pelo menos um dos campos do formulário e clicar em “*Query*”. O resultado da consulta da página de *Custom Queries* é apresentado na forma de tabela, que é carregada na página após o clique em “*Query*”.

A Figura 24 apresenta a tabela que representa o resultado da primeira consulta (*Query #01*). Essa tabela possui os seguintes campos: *User*, que representa o id do participante; *Sound*, que representa o som emitido; *Type*, que representa o tipo de interação (som ou geolocalização); e *Interaction Time (Int. Time)*, que representa a hora da interação.



The screenshot shows a web browser window with the URL `dev.nemo.inf.ufes.br/uxon/custom-queries`. The page title is "UXON" and the breadcrumb is "Home > Queries > Custom Queries".

Query #01

User: 160
Emitted Sound: 20
Type of Interaction: (empty)
Interactions between: Min time and Max time

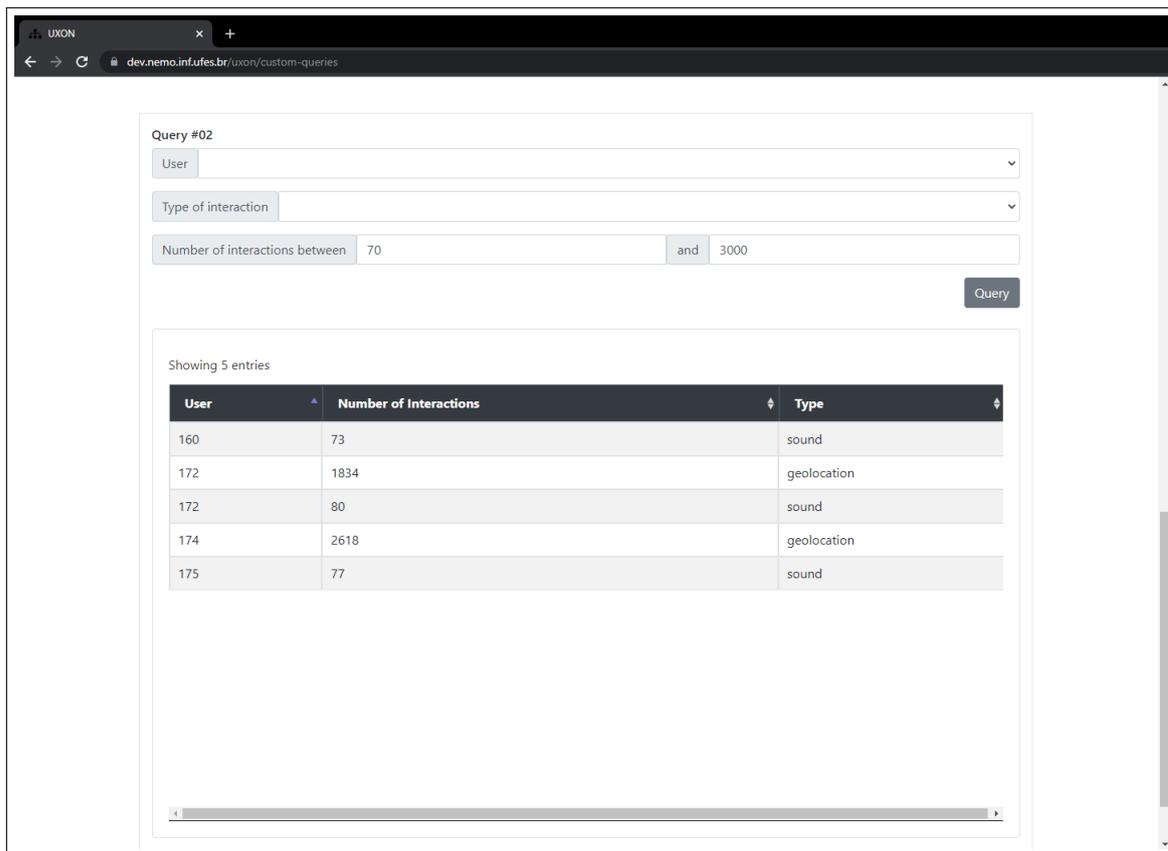
Query

Showing 72 entries

| User | Sound | Type | Int. Time |
|------|-------|-------------|-----------|
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |
| 160 | 20 | geolocation | 20:51:54 |

Figura 24 – Página *Custom Queries* - Tabela da primeira consulta personalizada.

A Figura 25 apresenta a tabela que representa o resultado da segunda consulta (*Query #02*). Essa tabela possui os seguintes campos: *User*, que representa o id do participante; *Number of Interactions*, que representa a quantidade de interações; e *Type*, que representa o tipo de interação (som ou geolocalização).



The screenshot shows a web browser window with the URL `dev.nemo.inf.ufes.br/uxon/custom-queries`. The page displays a query form for "Query #02" with the following fields:

- User: [dropdown menu]
- Type of interaction: [dropdown menu]
- Number of interactions between: 70 and 3000

A "Query" button is located to the right of the form. Below the form, the text "Showing 5 entries" is displayed above a table with the following data:

| User | Number of Interactions | Type |
|------|------------------------|-------------|
| 160 | 73 | sound |
| 172 | 1834 | geolocation |
| 172 | 80 | sound |
| 174 | 2618 | geolocation |
| 175 | 77 | sound |

Figura 25 – Página *Custom Queries* - Tabela da segunda consulta personalizada.

3.4 Considerações Finais do Capítulo

Este capítulo apresentou UXON, um sistema baseado em ontologias para avaliação da experiência de usuários em sistemas imersivos. Também foram apresentados os seus requisitos, a sua modelagem conceitual, a ontologia em OWL, seguindo com os detalhes do projeto do sistema e finalizando com a apresentação das páginas e seu fluxo de interação implementadas no UXON. No próximo capítulo, são apresentadas as considerações finais do trabalho.

4 Conclusão

Neste capítulo são realizadas as considerações finais deste trabalho, sendo apresentadas suas principais contribuições e perspectivas de trabalhos futuros.

4.1 Conclusões

Por ser um processo que envolve a coleta e a análise de uma grande quantidade de dados e uso de métricas, a avaliação da experiência do usuário por observação indireta requer o apoio de soluções automatizadas. De acordo com [Costa \(2021\)](#), HCI-ON visa apoiar soluções de problemas no domínio de IHC, por meio do uso de extratos da rede. Assim, a análise de grande volume de dados no domínio de IHC pode ser apoiada por soluções baseadas em extratos de HCI-ON.

Neste trabalho, foi desenvolvido o sistema UXON, um sistema baseado em ontologias que tem como objetivo apoiar especialistas em UX do Grupo de Pesquisa em Usabilidade e Engenharia de Software (USES) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) na avaliação e análise da experiência dos usuários em um ambiente de composição musical utilizando o aplicativo Compomus ([AMAZONAS et al., 2019](#); [MARQUES et al., 2020](#)). Tanto a concepção como a implementação de UXON foi fortemente baseada em ontologias, seguindo princípios da aplicação de ontologias na Engenharia de Software ([HAPPEL; SEEDORF, 2006](#)). Para isso, um extrato da conceituação da HCI-ON ([COSTA et al., 2020](#); [COSTA, 2021](#)), rede de ontologias no domínio de IHC, foi usado. Esse extrato reuniu os conceitos e as relações necessários para apoiar o processo de avaliação do sistema em questão.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados conhecimentos diversos obtidos durante a graduação em diferentes disciplinas. Os conhecimentos mais utilizados foram obtidos através das seguintes disciplinas:

- **Engenharia de Software, Engenharia de Requisitos de Software e Projeto de Sistemas de Software:** onde foi apresentado todo o conhecimento necessário para a modelagem de UXON, como o levantamento e análise de requisitos, a modelagem dos casos de uso, e a elaboração do projeto e da arquitetura do sistema. Além disso, contribuíram por tornar a concepção do trabalho mais clara e precisa, facilitando a tomada de decisões de implementação. Também ajudou na organização do tempo para o desenvolvimento por prover previsibilidade quanto às funcionalidades a serem desenvolvidas.

- **Programação I, II e III, Estrutura de Dados I e Linguagens de Programação:** proveram uma base de conhecimento essencial para o desenvolvimento e implementação de UXON, auxiliando na lógica de programação, na resolução de problemas e na estruturação do conhecimento sobre linguagens de programação. Juntas foram responsáveis por atenuar a curva de aprendizagem das linguagens de programação utilizadas na implementação de UXON (Python e JavaScript).
- **Banco de Dados:** Apesar de não ter sido usado um banco relacional durante o desenvolvimento do sistema, os conhecimentos agregados durante essa disciplina proporcionaram maior facilidade no entendimento de banco de dados de triplas (grafo de conhecimento) e no acesso aos dados utilizando o sistema de gerenciamento de banco de dados Stardog. Além disso, o aprendizado da linguagem SQL nesta disciplina também facilitou o entendimento da linguagem SPARQL, utilizada para realizar consultas no banco de triplas.
- **Engenharia de Ontologias:** responsável pelo contato inicial no contexto de ontologias. Proveu conhecimento necessário para o entendimento de modelos conceituais, conceitos e relações. Foi responsável por atenuar a curva de aprendizagem do paradigma de desenvolvimento de sistemas orientado a ontologias, da linguagem OWL (e de tecnologias da Web Semântica), como também da biblioteca Owlready2.

No Capítulo 1 da monografia foram apresentados os objetivos a serem alcançados no desenvolvimento deste trabalho. Na tabela 2 são apresentados novamente cada um dos objetivos, assim como a indicação de atendimento e os resultados alcançados que evidenciam o atendimento dos mesmos.

Tabela 2 – Objetivos e sua situação na conclusão da monografia

| Objetivo | Status | Resultado |
|---|---------------|---|
| Identificar o extrato de HCI-ON que descreve o domínio de interesse para a solução proposta | Atendido | Seleção do extrato da HCI-ON (conceitos e relações) que reflete o domínio do tratado na UXON (vide Figura 2 e Figura 5) |
| Especificar o sistema baseado em ontologias a ser produzido | Atendido | Especificação de requisitos, elaboração dos modelos de casos de uso e do modelo conceitual (vide Seção 3.1 |
| Projetar a solução baseada em ontologias a ser adotada | Atendido | Elaboração do projeto de arquitetura (vide Seção 3.2.2) |
| Implementar, testar e disponibilizar uma versão do sistema | Atendido | Sistema UXON implementado (vide Seção 3.3) e disponível para uso no endereço: https://dev.nemo.inf.ufes.br/uxon |

Entre as dificuldades para o desenvolvimento deste trabalho, destaca-se: o aprendi-

zado da linguagem Python (adotada no desenvolvimento do sistema), o entendimento da biblioteca OWLReady2 (Python para manipulação de OWL) e do *microframework* Flask (baseado em Python), com os quais a autora nunca havia tido contato antes de iniciar os estudos para o desenvolvimento deste projeto. A escolha da linguagem Python foi devido ao conhecimento prévio que a coorientadora deste trabalho possuía, assim facilitaria o trabalho de orientação em questões técnicas. Com a escolha da linguagem, foi necessária a escolha da biblioteca OWLReady2, uma vez que está disponível na linguagem Python.

O desenvolvimento orientado a ontologias foi desafiador, uma vez que a autora nunca havia utilizado esta abordagem. Ainda que fosse possível desenvolver o mesmo sistema sem a utilização das ontologias, o uso das mesmas proporcionou mais facilidade no entendimento do domínio e na construção do modelo conceitual, já que a rede de ontologias descreve de forma eficaz o domínio em questão.

Apesar das dificuldades encontradas, a elaboração deste trabalho possibilitou que a autora vivenciasse experiências que permitiram a agregação de conhecimento em sua formação, como a manipulação de ontologias em OWL, o aprendizado sobre o banco de triplas (Stardog), da linguagem SPARQL, e sobre o fenômeno de IHC e do processo de avaliação de sistemas interativos.

Vale ressaltar que o sistema desenvolvido é uma versão inicial e, portanto, possui limitações. Um exemplo é a demora na geração dos gráficos interativos (*Interactivity Graphs*) apresentados na página de *Measured Values*. Como consequência disso, há uma demora na apresentação dessa página. Isso não afeta a funcionalidade e o funcionamento do sistema, é uma questão de otimização de tempo que não pode ser tratada diante das restrições de tempo para conclusão deste projeto e da necessidade em priorizar funcionalidades essenciais ao seu funcionamento para disponibilizá-lo para uso. Certamente a otimização do tempo de processamento dos gráficos interativos poderá ser tratada em trabalhos futuros.

UXON foi disponibilizada no endereço *web* <https://dev.nemo.inf.ufes.br/uxon/> em 31 de janeiro de 2022. Desde então, ela tem sido usado pelos especialistas em UX do USES/UFAM. Um estudo de avaliação da ferramenta está sendo conduzido no contexto da pesquisa de doutorado da coorientadora deste trabalho. Resultados iniciais obtidos durante reuniões com os especialistas em UX do USES indicam que UXON é útil e que seus usuários estão satisfeitos em usá-la. Em uma das reuniões, um dos especialistas destacou o quanto UXON facilita o trabalho deles que, antes de UXON, analisavam os dados dos logs manualmente, o que gerava muito esforço e retrabalho a cada novo arquivo de log produzido.

4.2 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, os seguintes pontos foram identificados como melhorias no sistema:

- Desenvolver um sistema de cadastro de usuários para manter o seu histórico de acesso.
- Integrar um banco de dados relacional para armazenar e manter o histórico dos relatórios das avaliações, por usuário.
- Implementar outras métricas de UX (quando definidas).
- Implementar melhorias no código, para otimizar o carregamento das páginas.
- Armazenar os dados dos gráficos interativos (*Interactivity Graphs*) em um banco de dados relacional, para otimizar o tempo de carregamento desses gráficos na página de *Measured Values*.
- Realizar a avaliação de usabilidade da interface do sistema e implementar melhorias.
- Evoluir a ferramenta para permitir sua aplicação para avaliar outros sistemas imersivos.

Referências

- ALBERT, W.; TULLIS, T. *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. 2th. ed. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2013. 322 p. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 17.
- AMAZONAS, M. et al. Composing through interaction: a framework for collaborative music composition based on human interaction on public spaces. In: *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Computação Musical*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2019. p. 42–49. ISSN 0000-0000. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbcm/article/view/10421>>. Citado 3 vezes nas páginas 12, 25 e 54.
- ARDITO, C. et al. Investigating and promoting UX practice in industry: An experimental study. *International Journal of Human Computer Studies*, Elsevier, v. 72, n. 6, p. 542–551, 2014. ISSN 10959300. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2013.10.004>>. Citado na página 16.
- AURUM, A.; WOHLIN, C. Requirements engineering: setting the context. In: *Engineering and managing software requirements*. [S.l.]: Springer, 2005. p. 1–15. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 30.
- BARBOSA, S. D. J. et al. *Interação Humano-Computador e Experiência do Usuário*. [S.l.]: Autopublicação, 2021. Citado 5 vezes nas páginas 11, 12, 15, 16 e 17.
- BARCELLOS, M.; FALBO, R.; FRAUCHES, V. G. V. Towards a measurement ontology pattern language. In: *Proceedings of the 1st Joint Workshop ONTO.COM / ODISE on Ontologies in Conceptual Modeling and Information Systems Engineering*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 1301. Citado na página 20.
- BARCELLOS, M. P. *Engenharia de Software: Notas de aula. 2018. Departamento de Informática, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES*. 2018. Acesso em: 13 março 2022. Disponível em: <<https://nemo.inf.ufes.br/wp-content/uploads/Monalessa/EngSoftware/NotasDeAula-EngSw-EngComp-v2018.pdf>>. Citado 4 vezes nas páginas 25, 32, 34 e 36.
- BENYON, D. *Designing interactive systems A comprehensive guide to HCI and interaction design*. 2nd. ed. [S.l.]: Pearson Education, 2010. 712 p. ISBN 9780321435330. Citado na página 15.
- CARMAGNOLA, F.; CENA, F.; GENA, C. User model interoperability: a survey. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Springer, v. 21, n. 3, p. 285–331, 2011. Citado na página 11.
- CARROLL, J. M. Human-computer interaction: psychology as a science of design. *Annual review of psychology*, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 48, n. 1, p. 61–83, 1997. Citado na página 11.
- CARROLL, J. M. Human Computer Interaction (HCI). In: SOEGAARD, M.; DAM, R. F. (Ed.). *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction*. 2nd. ed. Aarhus, Denmark: The

Interaction Design Foundation, 2014. cap. 2, p. 21–61. ISBN 978-87-92964-00-7. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 15.

COSTA, S. D. *An Ontology Network to support Knowledge Representation and Semantic Interoperability in the HCI Domain*. 143 p. Tese (Doutorado) — Federal University of Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, apr 2021. Citado 9 vezes nas páginas 6, 12, 18, 19, 20, 27, 28, 33 e 54.

COSTA, S. D. et al. Towards an Ontology Network on Human-Computer Interaction. In: DOBBIE, G. et al. (Ed.). *Proceedings of the Conceptual Modeling*. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 331–341. ISBN 978-3-030-62522-1. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-62522-1_24>. Citado 6 vezes nas páginas 12, 18, 27, 28, 33 e 54.

DIX, A. et al. *Human-Computer Interaction*. 3rd. ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Prentice-Hall, Inc., 2004. 834 p. ISBN 978-0130461094. Citado na página 15.

GUARINO, N. *Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy*. [S.l.]: IOS press, 1998. v. 46. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

GUIZZARDI, G. Ontological foundations for structural conceptual models. 2005. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

GUIZZARDI, G.; FALBO, R. de A.; GUIZZARDI, R. S. Grounding software domain ontologies in the unified foundational ontology (ufo): The case of the ode software process ontology. In: CITESEER. *CibSE*. [S.l.], 2008. p. 127–140. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

GUIZZARDI, G. et al. Endurant types in ontology-driven conceptual modeling: Towards ontouml 2.0. In: SPRINGER. *International Conference on Conceptual Modeling*. [S.l.], 2018. p. 136–150. Citado na página 19.

GUIZZARDI, G. et al. On ontology, ontologies, conceptualizations, modeling languages, and (meta) models. *Frontiers in artificial intelligence and applications*, IOS Press, v. 155, p. 18, 2007. Citado na página 18.

GUIZZARDI, G. et al. Towards ontological foundations for conceptual modeling: The unified foundational ontology (ufo) story. *Applied ontology*, IOS Press, v. 10, n. 3-4, p. 259–271, 2015. Citado na página 19.

GUIZZARDI, G. et al. Towards ontological foundations for the conceptual modeling of events. In: SPRINGER. *International Conference on Conceptual Modeling*. [S.l.], 2013. p. 327–341. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

HAPPEL, H.-J.; SEEDORF, S. Applications of ontologies in software engineering. In: CITESEER. *Proc. of Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering" (SWESE) on the ISWC*. [S.l.], 2006. p. 5–9. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 54.

ISO. *Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems*. [S.l.], 2019. 33 p. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-2:v1:enhttps://www.iso.org/standard/77520.html>>. Citado na página 16.

- JEAN-BAPTISTE, L. *Ontologies with Python*. Berkeley, CA: Apress, 2021. 344 p. ISBN 978-1-4842-6551-2. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-1-4842-6552-9>>. Citado 3 vezes nas páginas 14, 23 e 24.
- LAW, E. L.-C. et al. Understanding, scoping and defining user experience: a survey approach. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*. [S.l.: s.n.], 2009. p. 719–728. Citado na página 15.
- MARQUES, L. et al. Ux trek: a post-interaction journey from immersive experience logs. In: *Proceedings of the 19th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–6. Citado 7 vezes nas páginas 6, 12, 16, 17, 25, 26 e 54.
- MENEZES, C.; NONNECKE, B. Ux-log: understanding website usability through recreating users' experiences in logfiles. *Journal ISSN*, v. 2368, p. 6103, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- NIELSEN, J. *Usability Engineering*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1993. Citado na página 16.
- PREECE, J.; SHARP, H.; ROGERS, Y. *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. 5th. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2019. 656 p. ISBN 978-1119547259. Citado 4 vezes nas páginas 11, 15, 16 e 17.
- RUSSO, P. et al. Usability of planning support systems: An evaluation framework. In: *Planning support systems and smart cities*. [S.l.]: Springer, 2015. p. 337–353. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 16.
- RUY, F. B. et al. Seon: A software engineering ontology network. In: SPRINGER. *European Knowledge Acquisition Workshop*. [S.l.], 2016. p. 527–542. Citado na página 18.
- SCHERP, A. et al. Designing core ontologies. *Applied Ontology*, IOS Press, v. 6, n. 3, p. 177–221, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.
- STUDER, R.; BENJAMINS, V. R.; FENSEL, D. Knowledge engineering: Principles and methods. *Data & knowledge engineering*, Elsevier, v. 25, n. 1-2, p. 161–197, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.
- SUÁREZ-FIGUEROA, M. C. et al. Introduction: Ontology engineering in a networked world. In: *Ontology engineering in a networked world*. [S.l.]: Springer, 2012. p. 1–6. Citado na página 18.
- VERMEEREN, A. P. et al. User experience evaluation methods: current state and development needs. In: *Proceedings of the 6th Nordic conference on human-computer interaction: Extending boundaries*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 521–530. Citado na página 16.
- W3C. *Semantic Web - W3C*. c2015. Disponível em: <<https://www.w3.org/standards/semanticweb/>>. Acesso em 15 de mar. de 2022. Citado na página 22.