

**MARIA APARECIDA FERNANDES  
ALMEIDA**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS  
HIPERMÍDIA ADAPTATIVOS  
EDUCACIONAIS: UMA APLICAÇÃO  
EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**FLORIANÓPOLIS**

**2011**



**Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária  
da  
Universidade Federal de Santa Catarina**

A447a Almeida, Maria Aparecida Fernandes

Avaliação de sistemas hipermídia adaptativos educacionais  
[tese] : uma aplicação em engenharia biomédica Maria  
Aparecida Fernandes Almeida ; orientador, Fernando Mendes de  
Azevedo. - Florianópolis, SC, 2011.

1 v.: il., grafs., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina,  
Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Elétrica.

Inclui referências

1. Engenharia elétrica. 2. Engenharia biomédica. 3.  
Multímídia interativa - Avaliação. 4. Qualidade. I. Azevedo,  
Fernando Mendes de. II. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.  
III. Título.

CDU 621.3



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS HIPERMÍDIA  
ADAPTATIVOS EDUCACIONAIS: UMA APLICAÇÃO  
EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

Tese submetida à  
Universidade Federal de Santa Catarina  
como parte dos requisitos para a  
obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica

**MARIA APARECIDA FERNANDES ALMEIDA**

Florianópolis, Setembro de 2011



**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS HIPERMÍDIA  
ADAPTATIVOS EDUCACIONAIS: UMA APLICAÇÃO  
EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**MARIA APARECIDA FERNANDES ALMEIDA**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Elétrica, Área de concentração Engenharia Biomédica, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof. Fernando Mendes de Azevedo, Dr., IEB-UFSC  
Orientador

---

Prof. Patrick Kuo-Peng, Dr.  
Coordenador do PGEEL - UFSC

Banca Examinadora:

---

Prof. Fernando Mendes de Azevedo, Dr., UFSC

---

Prof. Edilson Ferneda, Dr., UCB

---

Prof. Jefferson Luiz Brum Marques, Ph.D., UFSC

---

Prof. Jorge Muniz Barreto, Dr., UFSC

---

Prof. José Marino Neto, Dr., UFSC

---

Prof. Rudimar Luís Scaranzo Dazzi, Dr., UNIVALI





*Dedico esta tese ao Luiz Ricardo, com  
carinho.*



## AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, fica expressa aqui a minha gratidão, especialmente:

Ao meu orientador, Prof. Fernando Mendes de Azevedo.

Aos professores que compuseram as bancas examinadoras de exame de qualificação e de defesa, Profa. Fernanda Argoud, Profa. Cilene Lino de Oliveira, Prof. Edilson Fereda, Prof. Rudimar Dazzi, Prof. Jorge Muniz Barreto, Prof. Jefferson Luiz Brum Marques e Prof. José Marino Neto.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica e do Instituto de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Ao Chefe de Expediente da Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Sr. Wilson Costa e as secretárias do IEB, Sra. Bia (in memoriam), Aline e Samile.

Aos meus colegas do IEB - Daniela Suzuky, Viviane, César Filho, Crispim e Rafael Briese.

À PUC Minas, nas pessoas dos professores Rita de Souza Leal, Wanderley Chieppe Felipe, Rita Fazzi, Sônia Campos, Daniela Hatem, Maria José Salum, Sílvio Júlio Cavalcanti, Meny Ribas, Marcelo de Rezende, Sara Resende, Marcos Soares Nunes e José Luiz Ribeiro.

Aos funcionários da PUC Minas.

Ao Thiago, monitores, demais alunos e egressos, que contribuíram diretamente e indiretamente com este trabalho.

Aos meus amigos Fátima Brandão, Rosyelle e Gilberto, Jacqueline e Eduardo, Rita, Romário, Wilson Henrique, Cláudio Macedo, Admardo Júnior, Marcos Macedo, Hélio Henn e Jane, Márcia Swendler e André, Rudiney Henn, Solange e Barreto, Max Mauro e Meire, Lourdes Brasil, Brenno, Gele e Amira Hisgail.

À minha família, especialmente, Adriana, Ricardo, Ana Luisa e Luiz Ricardo.

À Deus, a quem sempre agradeço por tudo.



Resumo da Tese apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Elétrica.

## **AVALIAÇÃO DE SISTEMAS HIPERMÍDIA ADAPTATIVOS EDUCACIONAIS: UMA APLICAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

**Maria Aparecida Fernandes Almeida**

Setembro / 2011

Orientador: Prof. Fernando Mendes de Azevedo, Dr., IEB-UFSC.

Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

Palavras-chave: Avaliação, Sistemas Hipermissão Adaptativos Educacionais, Teoria das Categorias, Qualidade.

Número de Páginas: 151

A idéia central dos Sistemas Hipermissão Adaptativos Educacionais (SHAE) é a expectativa de oferecer a cada estudante uma interface modelada de acordo com suas características específicas. Tais sistemas são dinâmicos e multivariáveis e precisam de projetos e avaliações que envolvem equipes multidisciplinares devido à diversidade de domínios, situações, condições e estratégias pedagógicas. Um projeto consistente exige uma linguagem unificadora de descrição das estruturas sem ambigüidades, a integração dos aspectos construtivos e pedagógicos, bem como a mensuração das características de qualidade internas, externas e em uso do sistema. Neste sentido, este trabalho apresenta uma metodologia de avaliação multidimensional que permite desenvolver especificações formais e calcular os atributos de qualidade de sistemas educacionais na área de Engenharia Biomédica. No trabalho são apresentados os conceitos de Teoria das Categorias para modelagem da arquitetura, navegação adaptativa e requisitos funcionais da avaliação de um Tutorial de Neuroanatomia. A metodologia é composta por representações formais categóricas, utilização de métricas do processo avaliativo da norma ISO/IEC 14598 e a proposição de medidas da qualidade dos componentes educacionais. Os resultados permitiram concluir que a formalização fornece a generalidade necessária para especificação. A avaliação multidimensional oferece flexibilidade na estimação da qualidade global através da investigação dos atributos computacionais e educacionais do sistema.



Abstract of Thesis presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Electrical Engineering.

## **EVALUATION OF ADAPTIVE EDUCATIONAL HYPERMEDIA SYSTEMS: AN APPLICATION IN BIOMEDICAL ENGINEERING**

**Maria Aparecida Fernandes Almeida**

Sep / 2011

Advisor: Prof. Fernando Mendes de Azevedo, Dr., IEB-UFSC.

Area of Concentration: Biomedical Engineering.

Keywords: Evaluation, Adaptive Educational Hypermedia Systems, Category Theory, Quality.

Number of pages: 151

The central idea of Adaptive Educational Hypermedia Systems (SHAE) is expected to provide to each student an interface modeled according to their specific characteristics. Such systems are dynamic and multivariable and need projects and evaluations that involve multidisciplinary teams due to the diversity of domains, situations, conditions and teaching strategies. A consistent project demands a unifying language to describe the structures unambiguously, the integration of constructive and educational aspects, as well as the measurement of the characteristics of quality internal, quality external and quality in use. Thus, this work presents a multidimensional evaluation methodology that allows the development of formal specifications and calculates the attributes of quality of educational systems in Biomedical Engineering area. In the work we present the concepts of Category Theory for modeling the architecture, navigation, adaptive and functional requirements of an evaluation of Neuroanatomy Tutorial. The methodology comprises formal categorical representations, use of metrics of the evaluation process of the ISO / IEC 14598 and the proposition of quality measurements for the educational components. The results showed that the formalization provides the generality necessary for specification. The multidimensional evaluation provides flexibility for estimating the global quality through investigating of attributes computational and educational of the system.





## SUMÁRIO

Introdução .....	27
1.1 Justificativa .....	29
1.2 Objetivos .....	31
1.2.1 Objetivo Geral .....	31
1.2.2 Objetivos Específicos .....	31
1.3 Estrutura do trabalho .....	31
Modelos Categóricos .....	33
2.1 Conceitos de Teoria das Categorias .....	34
2.2 Tipos de Morfismos .....	36
2.3 Funtores .....	37
2.4 Modelos teóricos de Sistemas Hipermídia .....	39
2.5 Categorização da arquitetura .....	40
2.6 Categorização da Navegação Adaptativa .....	44
2.6.1 Orientação Direta .....	44
2.6.2 Ordenação adaptativa de links .....	45
2.6.3 Ocultação adaptativa .....	49
2.6.4 Geração de links .....	50
2.6.5 Adaptação de mapas .....	52
2.6.6 Anotação adaptativa de links .....	54
2.7 Modelagem de um Tutorial de Neuroanatomia .....	56
2.8 Modelo formal da avaliação .....	60
Metodologia da Qualidade .....	65
3.1 O Modelo ISO/IEC 14598 .....	66
3.1.1 Requisitos da avaliação .....	67
3.1.2 Especificação da avaliação .....	69
3.1.3 Projeto da avaliação .....	73
3.1.4 Execução da avaliação .....	74
3.2 Dimensões da Avaliação .....	75
3.3 Resultados .....	82
3.3.1 Avaliação da Satisfação do Usuário .....	82
3.3.2 Avaliação com modelo de qualidade .....	85
3.4 Discussão .....	92
Conclusões .....	97

Apêndice .....	122
Apêndice A – Instrumentos do processo avaliativo .....	123
Apêndice B – Cálculo métricas das dimensões 1, 2, 3 e 4 .....	127
Apêndice C – Resultados da medição da satisfação do usuário .....	145
Apêndice D – Resultados da medição da qualidade em uso .....	149

## LISTA DE FIGURAS

1	Representação categórica de um gato [1] . . . . .	34
2	Morfismos de uma categoria . . . . .	35
3	Diagrama . . . . .	36
4	Monomorfismo . . . . .	36
5	Epimorfismo . . . . .	37
6	Isomorfismo . . . . .	37
7	Representação de um funtor . . . . .	38
8	Modelo de Benyon [2] . . . . .	41
9	Categorização de objetos de um SHAE [3] . . . . .	42
10	Orientação direta através de morfismo constante . . . . .	45
11	Modelo de Orientação Direta pelo Problema da Determinação	46
12	Classificação por relevância (adaptada de Lawvere & Schanuel [4] . . . . .	46
13	Categorização da ordenação de links . . . . .	47
14	Ordenação por propriedade . . . . .	48
15	Classificação de links através de Pullback . . . . .	49
16	Ocultação de links por regras de desativação . . . . .	50
17	Categorização da Ocultação de links . . . . .	51
18	Geração de links pelo Produto . . . . .	52
19	Monomorfismo . . . . .	53
20	Diagrama equivalente . . . . .	53
21	Pushout de dois morfismos $f$ e $g$ . . . . .	54
22	Soma de objetos . . . . .	55
23	Categorização da anotação adaptativa de links . . . . .	56
24	Tela do Sistema Educacional de Neuroanatomia . . . . .	57
25	Links da navegação adaptativa do LVN . . . . .	58
26	Denotação categórica da navegação adaptativa de uma página do LVN . . . . .	59
27	Diagrama equivalente para a denotação da navegação adaptativa da página 5 . . . . .	61
28	Categorização dimensional dos componentes do SHAE [5] . . . . .	62
29	SHAE categorizado [3] . . . . .	63
30	Processo de Avaliação - Norma ISO-IEC 14598 [6] . . . . .	67
31	Tela mapa do site do tutorial avaliado . . . . .	83
32	Ferramenta para coleta de dados . . . . .	83
33	Ferramenta para coleta de dados de qualidade em uso . . . . .	86



## LISTA DE TABELAS

1	Níveis de classificação para julgamento de um programa . . .	70
2	Nível de qualidade com as métricas internas e externas para a dimensão 1 . . . . .	88
3	Nível de qualidade com as métricas internas e externas para a dimensão 2 . . . . .	89
4	Nível de qualidade com as métricas externas e de qualidade em uso para a dimensão 3 . . . . .	90
5	Nível de qualidade com as métricas internas e externas para a dimensão 4 . . . . .	91
6	Níveis de qualidade das dimensões . . . . .	92
7	Nível de qualidade com as métricas de qualidade em uso para a dimensão 4 . . . . .	93
8	Níveis de qualidade das dimensões 1,2, 3 e 4 . . . . .	95
9	Níveis de qualidade das dimensões 1, 2 e 3 . . . . .	96
10	Propósitos da avaliação . . . . .	123
11	Modelo de Qualidade . . . . .	123
12	Plano de Avaliação . . . . .	124
13	Plano de Avaliação - continuação . . . . .	125
14	Matriz de Avaliação . . . . .	126
15	Cálculo métricas internas da dimensão 1: Funcionalidade . .	127
16	Cálculo métricas internas da dimensão 1: Confiabilidade e Manutenibilidade . . . . .	128
17	Cálculo métricas externas da dimensão 1: Funcionalidade e Confiabilidade . . . . .	129
18	Cálculo métricas externas da dimensão 1: Manutenibilidade e Portabilidade . . . . .	130
19	Cálculo métricas internas da dimensão 2: Usabilidade . . . .	131
20	Cálculo métricas externas da dimensão 2- Usabilidade: inteligibilidade . . . . .	132
21	Cálculo métricas externas da dimensão 2- Usabilidade: apreensibilidade . . . . .	133
22	Cálculo métricas externas da dimensão 2- Interface: Operabilidade . . . . .	134
23	Cálculo métricas externas da dimensão 2- Interface: Adaptatividade . . . . .	135
24	Cálculo métricas externas da dimensão 3 - Eficiência . . . .	136

25	Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 3 - Produtividade . . . . .	137
26	Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 3 - Segurança e Satisfação do usuário . . . . .	138
27	Cálculo métricas internas da dimensão 4 . . . . .	139
28	Cálculo métricas externas da dimensão 4 . . . . .	140
29	Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 4 - Aspectos de conteúdos . . . . .	141
30	Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 4: Realimentação . . . . .	142
31	Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 4 - Suporte à Aprendizagem . . . . .	143
32	Métricas qualidade em uso da dim. 4 - Aspectos Psicológicos	144
33	Reações gerais, Interface do Sistema . . . . .	145
34	Aprendizagem e Capacidades do sistema . . . . .	146
35	Multimídia e Tarefas do sistema . . . . .	147
36	Ajuda do sistema . . . . .	148
37	Resultados dos suporte à aprendizagem: conteúdos . . . . .	149
38	Resultados dos suporte à aprendizagem: realimentação . . . . .	149
39	Resultados dos suporte à aprendizagem: interatividade . . . . .	150
40	Resultados dos suporte à aprendizagem (recursos) e aspectos psicológicos . . . . .	151

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ADV	Abstract Data Views.
AHA	Adaptive Hypermedia Architecture.
AHAM	Adaptive Hypermedia Application Model.
AHM	The Amsterdam Hypermedia Model.
CAL	Computer Aided Learning.
EHDM	Educational Hyperdocuments Design Method.
EORM	Enhanced Object-Relationship Model.
HAM	Hypertext Abstract Machine.
HDM	Hypermedia Design Model.
HMBS	Hypermedia Model Based on Statecharts.
IA	Inteligência Artificial.
IEB	Instituto de Engenharia Biomédica.
ISO/IEC	International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission.
Ob-AHEM	Object - Adaptive Hypermedia Educational Application.
OOHDM	Oriented-object Hypermedia Design Method.
PS	Produto de Software.
QUIS	Questionnaire for User Interaction Satisfaction.
RMM	Relationship Management Methodology.
RMMD	Relationship Management Data Model.
RV	Realidade Virtual.
SE	Sistemas Especialistas.
SHA	Sistemas de Hipermedia Adaptativos.
SHAE	Sistemas de Hipermedia Adaptativos Educacionais.
STI	Sistemas Tutores Inteligentes.
TC	Teoria das Categorias.
TES	Tutorial Evaluation System.
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina.
UWE	UML Web Engineering.
WBE	Web-based Education.





## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\mathcal{C}$  Categoria
- Composição de morfismos em uma categoria
- $\mathcal{D}$  Funtores entre duas categorias



## 1 INTRODUÇÃO

*“You could say that I was too lazy to calculate... and so I invented the computer.”*

Konrad Zuse (The Machine That Changed the World, 1992 [7])

O uso de sistemas computadorizados educacionais teve início nos anos de 1960 com os “Computer Aided Learning” (CAL). As pesquisas de aplicação do computador na Educação em Saúde tomaram impulso em 1967 com o desenvolvimento do “Tutorial Evaluation System” (TES) na Universidade de Ohio [8].

No campo da simulação, o computador tem sido um grande aliado na Educação em Saúde. Um dos primeiros sistemas de simulações dinâmicas educacionais aplicados à saúde foi devido a England e Roberts [9] nos anos 70. Os simuladores virtuais, como se assemelham bastante aos jogos eletrônicos, também têm potencial para melhorar o desempenho em cirurgias. Uma tendência na aplicação de simulações para a Educação em Saúde é a utilização dos “serious games” [10]. Segundo Nogueira e Cruz [11] estudos mostram que o uso de jogos eletrônicos afeta positivamente o desempenho dos médicos em cirurgias vídeo-laparoscópicas.

Os sistemas de RV tornaram-se ferramentas para pesquisa médica, educação e cuidados com os pacientes [12]. Empresas como a Dassault Systèmes [13] oferecem soluções de RV para desenvolvimento de pesquisas em laboratórios médicos avançados e universidades em várias aplicações [14], [15], [16], [17], [18], [19].

Na atualidade, existe um grande interesse no uso dos “Web-based Education” (WBE) [20]. Os WBE são aplicações hipermídia, que podem ser colaborativos ou não, cuja grande vantagem é permitir a redução de restrições espaço-temporais no processo de ensino-aprendizagem. Os WBE [21] podem incluir técnicas de Realidade Virtual (RV) [22], Hipermídia Adaptativa [23], (IA) [24] e compartilhamento de objetos de aprendizagem [25]. Enfim, os Sistemas Educacionais em EB podem constituir plataformas didáticas, laboratórios virtuais [26], sistemas de práticas [27], simulações, tutores inteligentes, treinamento, educação continuada, dentre outros fins. Tais sistemas possuem propósitos *pedagógicos* multidisciplinares para aplicação nas áreas de EB, Ciências Biológicas, Ciências Médicas e da Saúde e áreas afins.

As primeiras aplicações da Inteligência Artificial (IA) na Educação em

Saúde foram feitas através do uso de Sistemas Especialistas (SE) [28]. Os SE didáticos permitiam aos estudantes a familiarização com situações simples, hipotéticas em aplicações clínicas [20].

Da evolução dos sistemas hipermídia convencionais originaram-se os *Sistemas de Hipermídia Adaptativos* (SHA) que oferecem suporte à navegação e apresentação de conteúdos, através das adaptações aos objetivos, interesses e preferências dos seus usuários. A integração de Sistemas Tutores Inteligentes (STI)[29], [30], [31] Sistemas Hipermídia e Sistemas Adaptativos deram origem aos sistemas híbridos denominados *Sistemas Hipermídia Adaptativos Educacionais* (SHAE) [32].

Geralmente, nos ITS tradicionais os estudantes têm pouco controle sobre o processo de aprendizagem, pois o controle é estabelecido pelo sistema. Em contrapartida, os SHAE são sistemas de aprendizagem assistida por computador onde o material de ensino e as simulações a serem desenvolvidas são apresentados de forma não linear. Os SHAE fornecem exploração do conteúdo dirigido ao estudante, que exerce o controle total sobre o processo de aprendizagem.

Um dos problemas dos SHAE é a diversidade de domínios, situações, condições, estratégias, etc., em que podem ser utilizados. Isto dificulta a especificação de uma ferramenta para construir este tipo de programas. Os SHAE exigem projetos e avaliações multidisciplinares, envolvendo diferentes interessados que muitas vezes desconhecem o corpo de conhecimento da Engenharia de Programas<sup>1</sup> e dos princípios educacionais. Os requisitos dos sistemas devem ser atendidos de forma que os objetos didático-pedagógicos sejam plenamente atendidos. Além disso, programas educacionais para a área de saúde envolvem diferentes mídias, diferentes aspectos pedagógicos, muitas práticas simuladas. Portanto, necessitam ser avaliados, desde da concepção ao seu uso. O desenvolvimento de um software educacional requer ainda que o sistema atinja os objetivos de instrução, muitas vezes difíceis de se mensurar. Os programas computacionais devem ser por natureza: confiáveis, de qualidade, tolerantes às falhas.

Este trabalho considera que os SHAE, devem passar por dois tipos de avaliações: (a) formativa: na sua construção e (b) somativa: no seu uso. Um sistema educacional em EB adaptativo deve incluir a avaliação de seus mecanismos de adaptatividade.

O interesse da autora pela temática da avaliação de sistemas educacionais teve uma forte motivação ao acompanhar e pesquisar sobre os trabalhos [33], [34], [35], [36] desenvolvidos no (IEB) da (UFSC). O IEB mantém

---

<sup>1</sup>Também denominada como Engenharia de Software.

o Portal Saúde+Educação ([http : //www.saudeeducacao.ufsc.br/](http://www.saudeeducacao.ufsc.br/)), disponibilizando para a comunidade acadêmica diversos programas dedicados à Educação em Saúde. O IEB oferece formação complementar aos alunos de graduação nas áreas de Engenharia Elétrica, Ciência da Computação e Ciências Biológicas e da Saúde da UFSC, oferecendo oficinas, mini cursos, práticas laboratoriais sobre tópicos da EB. O acompanhamento das atividades do IEB, proporcionou à autora uma familiarização com problemas relacionados à concepção de software educacional em EB. Especificamente, a motivação da autora está na aplicação de seus conhecimentos oriundos da Ciência da Computação na busca de alternativas para minimização de problemas de programas computadorizados educacionais.

## 1.1 Justificativa

A complexidade crescente dos SHAE tornou uma necessidade a construção de sistemas cujas ambigüidades podem ser diminuídas por especificações formais e semi-formais. Em geral, os sistemas complexos exigem múltiplos formalismos possibilitando várias análises sobre o comportamento do mesmo. As linguagens, técnicas e ferramentas matemáticas usadas para especificação e verificação de sistemas complexos reduzem a dependência da subjetividade humana (especificação informal) oferecendo um poder de abstração para aumentar a compreensão e detectar as inconsistências.

Muitos modelos de referência e métodos de projetos têm sido propostos para aplicações gerais dos SHAE, mas são escassos os trabalhos que propõem metodologias avaliativas considerando os aspectos construtivos destes sistemas. Weibelzah [37], pesquisador estudioso na área de avaliação de SHA, descreve em seu artigo “Problems and Pitfalls in the Evaluation of Adaptive Systems” que as avaliações empíricas dos SHA oferecem muitas vantagens e oportunidades. Entretanto, ainda existem lacunas nos estudos desenvolvidos.

Há uma demanda por avaliações empíricas de sistemas adaptativos. A pesquisa empírica é de alta importância para os campos científico e prático. As avaliações empíricas podem auxiliar na estimativa da efetividade, eficiência e usabilidade de um sistema. Inúmeras técnicas de avaliação de usabilidade de sistemas já estão consolidadas, destacando-se os trabalhos de Nielsen [38], [39]. Entretanto, os SHAE devem ser avaliados não somente em termos de usabilidade.

Os trabalhos de Weibelzah [37],[40], [41], contribuíram para a pesquisa empírica. Todavia, conforme pode ser encontrado na literatura [37],

[42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], existe um campo aberto para estudos sobre avaliação de SHA.

Se um sistema é adaptativo, este pode adaptar seu comportamento para o usuário e / ou para o contexto do usuário. A construção de modelos de usuários geralmente requer que sejam feitas muitas suposições sobre os mesmos: habilidades, conhecimento, necessidades, ou preferências, assim como seu comportamento e interação com o sistema. Muitas metodologias de avaliação foram propostas [40], [41] [42], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], mas pouca ênfase é dada aos aspectos qualitativos dos SHA.

Os SHAE devem ser avaliados para garantir que sua adaptabilidade e adaptabilidade realmente funcione. Os sistemas com adaptabilidade oferecem ferramentas para que o usuário altere explicitamente certas características do sistema, para adequá-lo ao seu comportamento, modificando o modo de apresentação do conteúdo, as características de navegação e suas funcionalidades[43]. A adaptatividade é a capacidade do sistema de se adaptar automaticamente às necessidades, comportamentos, caminhos e preferências dos usuários. Assim, os sistemas com adaptatividade através de seus algoritmos inteligentes têm a capacidade de modificar automaticamente suas próprias características, de acordo com a percepção das necessidades e características pessoais do usuário [43]. Entretanto, a medida do sucesso da adaptatividade ainda não foi investigada sistematicamente. Esta tese propõe que os SHAE devem ser avaliados considerando-se os critérios relacionados à adaptatividade, conforme mostrado no Capítulo 3.

A literatura é rica na descrição das teorias pedagógicas aplicadas aos software educacionais [52], [53], [54], [55], [56], [57], [58], [59], [60], [26], [61] [62]. Entretanto, em um sistema educacional é difícil a definição com clareza de qual estratégia, de qual aspecto pedagógico, de qual “qual?” o sistema deve seguir.

Os principais fatores de integração entre as áreas de Engenharia, Computação, Saúde e Educação, devem-se aos novos desenvolvimentos tecnológicos e ao aumento gradual de trabalhos multidisciplinares. A EB é grande exemplo desta integração. No desenvolvimento de sistemas educacionais para a área de Saúde, os Engenheiros Biomédicos se defrontam com uma diversidade de domínios, situações, condições, estratégias, entre outros, que dificultam naturalmente o desenvolvimento e uso destes sistemas.

A hipótese central desta tese é que o uso de ferramentas formais, normais internacionais para medição da qualidade de software e medição de aspectos pedagógicos, em modelos avaliativos em uma perspectiva multidimensional, criam um corpo de conhecimento metodológico multidisciplinar que

permite a criação de sistemas na área de EB que atendam os quesitos computacionais construtivos e de uso, e que possuam uma qualidade didático-pedagógica superior.

A metodologia multidimensional, aqui proposta, compõe-se pela modelagem arquitetural da estrutura e da avaliação de sistemas educacionais em EB, formalmente especificados e analisados à luz dos princípios de qualidade de software, considerando-se os aspectos educacionais. O escopo do trabalho limita-se ao estudo de SHAE. A abordagem utiliza a Teoria das Categorias (TC) que oferece um alto grau de abstração como linguagem de descrição para tratar a complexidade na concepção e avaliação de sistemas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 *Objetivo Geral***

Considerando que é preciso mensurar a eficácia de sistemas existentes e auxiliar no desenvolvimento de novos sistemas, este trabalho tem como objetivo geral:

- Desenvolver uma Metodologia para avaliação multidimensional de Sistemas Educacionais em EB, com foco em SHAE.

### **1.2.2 *Objetivos Específicos***

Para atender o objetivo geral, mencionado anteriormente, são definidos os seguintes objetivos:

- Descrever os formalismos categóricos dos sistemas de hipermídia adaptativos;
- Apresentar conceitos da TC para utilização na descrição estrutural e nos métodos formais de estruturação e avaliação de um SHAE;
- Apresentar uma proposta metodológica de avaliação de SHAE considerando as normas de padronização internacional para modelos de qualidade em processos, desenvolvimento e uso de software.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

Para atender os objetivos propostos, este trabalho está estruturado conforme descrito a seguir:

O Capítulo 1 apresenta a introdução, justificativa, os objetivos e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta os conceitos categóricos úteis na especificação dos SHAE. São apresentados os modelos categóricos arquitetural e avaliativo. Neste Capítulo é apresentada a modelagem da navegação adaptativa de um SHAE para ensino de Neuroanatomia e a modelagem formal da avaliação do mesmo sistema.

O Capítulo 3 apresenta uma proposta de metodologia de avaliação de SHAE. O Capítulo apresenta as dimensões da avaliação composta da modelagem formal baseada em TC e os modelos de qualidade da normas ISO/IEC 14598. São apresentados os modelos de qualidade interna, externa e em uso, os principais aspectos a serem avaliados com as normas embaadoras, no processo avaliativo. A título de ilustração é apresentada a avaliação de um tutorial de Neuroanatomia mostrando os cálculos envolvidos, os resultados e a análise dos resultados.

No Capítulo 4 são apresentadas a conclusão do trabalho e suas perspectivas futuras.



## 2 MODELOS CATEGÓRICOS

*“In one of those mythic remarks of uncertain authorship, Michael Faraday is alleged to have been asked what was the use of science. “Sir,” Faraday replied, “Of what use is a new-born child?” The obvious thing for Faraday (or Benjamin Franklin, or whoever it was) to have meant was that a baby might be no use for anything at present, but it had great potential for the future...”*

Faraday and Franklin’s Newborn Baby, B. Cohen, 1987 [63].

Este Capítulo apresenta a modelagem formal de um sistema hipermídia adaptativo utilizando os conceitos da TC. Os processos construtivos e avaliativos sistemas hipermídia adaptativos educacionais envolvem equipes multidisciplinares com membros oriundos das áreas de Engenharia, Computação, Educação, Saúde, entre outras. A TC pode ser usada como linguagem formal para oferecer a compreensão das diferentes visões dos sistemas por todos envolvidos.

A TC [1], [64] foi apresentada por Eilemberg e Mac Lane [65] em decorrência de seus trabalhos com topologias algébricas. A abordagem categórica tem sido usada como plataforma de comparação entre diferentes abordagens de modelagens para oferecer semântica na modularização de sistemas complexos.

A TC oferece uma descrição de problemas com capacidade de generalização, abstração e unificação de teorias. Nas décadas de 1980 e 1990, diversos trabalhos unificaram Teoria dos Conjuntos [66],[67],[68], [69], [70] e Lógica [71], [72] para aplicações da TC em sistemas de banco de dados [73], linguagens de programação [74], [75], [76], [77] e programação funcional [78].

Atualmente, as inúmeras aplicações da TC têm sido tratadas em diversas obras [1], [79], [80], [81], [82], [83], [84] e [85].

Muitas pesquisas têm sido dirigidas aos sistemas formais e suas aplicações na área médica. Na arquitetura de sistemas, os morfismos fazem mapeamentos que preservam a estrutura determinando a natureza de interconexões que podem ser estabelecidas entre os objetos (componentes do sistema).

A TC oferece técnicas para manipulação e raciocínio sobre as configurações do sistema representadas como diagramas. Conseqüentemente com a TC é possível o estabelecer hierarquias de complexidade, permitindo usar subsistemas como componentes de sistemas mais complexos.

Segundo Adamek [1]: “*Categorists have developed a symbolism that allows one quickly to visualize quite complicated facts by means of diagrams.*”

“*Category theory is advocated as a good mathematical structure for this integration precisely because it focuses on relationships and interactions!*” [81].

A Figura 1, adaptada de Adamek [1], ilustra a “brincadeira dos gatos”. Vale lembrar que o gato da fotografia é uma representação pictográfica do gato real. A TC permite “representações de representações”.

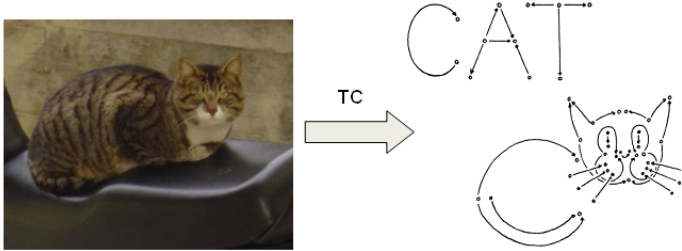


Figura 1: Representação categórica de um gato [1]

## 2.1 Conceitos de Teoria das Categorias

**Definição 2.1.1** *Uma categoria  $C$  contém três componentes [86], [79]:*

1. *Uma classe de objetos;*
2. *Uma classe de setas, denominadas de morfismos, entre esses objetos, com cada seta tendo uma origem e um destino [80]. A categoria  $C(A, B)$  representa a classe de todas as setas entre os objetos  $A$  e  $B$  e;*
3. *Uma lei de composição:*

$$C(B, C) \times C(A, B) \rightarrow C(A, C)$$

*especificando que para cada objeto  $A$ ,  $B$  e  $C$ , cada seta  $f$  entre os objetos  $A$  e  $B$ , e cada seta  $g$  entre  $B$  e  $C$ , existe uma seta entre  $A$  e  $C$ . Então, para todo par de setas na qual o objeto origem é destino de*

outro é possível combinar uma seta mais longa conforme demonstrado no diagrama da Figura 2.

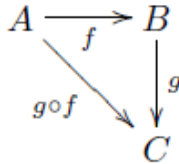


Figura 2: Morfismos de uma categoria

Se existe a seta  $f : A \rightarrow B$  e  $g : B \rightarrow C$  então tem-se uma seta  $g \circ f : A \rightarrow C$  na qual  $g \circ f$  representa a aplicação de  $f$  seguida por  $g$ . Nota-se que é escrito  $g \circ f$  e não  $f \circ g$ , como pode ser esperado, pois se for aplicado  $f$  e então  $g$  a um objeto  $A$ , seria escrito  $g(f(A))$ , portanto, em TC mantém-se a ordem de  $g$  e de  $f$  escrevendo-se  $g \circ f$  [86]. O destino de  $g \circ f$  é a origem de  $f$  e o alvo é o destino de  $g$ . Adicionalmente, a Categoria  $C$  tem as seguintes propriedades:

1. Para todas as setas  $f, g$  e  $h$  tem-se que  $(h \circ g) \circ f = h \circ (g \circ f)$ , ou seja, a composição é associativa;
2. Se  $A$  é um objeto em  $C$  então existe um seta  $id_A$ , denominada de morfismo identidade de  $A$ ;
3. Para a seta  $f : A \rightarrow B$ ,  $f \circ id_A = f = id_B \circ f$

Um diagrama de objetos e morfismos é um grafo direcionado cujos vértices são objetos de uma categoria e os arcos são morfismos entre esses objetos conforme mostra a Figura 3. Tal diagrama é dito *Comutativo* quando a composição de morfismos, ao longo de dois percursos quaisquer com o mesmo começo e fim, oferece morfismos iguais.

A comutatividade do diagrama da Figura 3 é equivalente a duas equações:

$$f = m \circ g \tag{2.1}$$

$$j \circ h = k \tag{2.2}$$

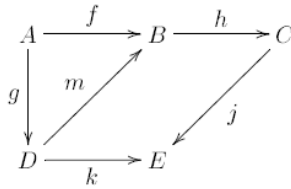


Figura 3: Diagrama

Das equações 2.1 e 2.2 deriva-se a equação:

$$k \circ g = j \circ h \circ f \quad (2.3)$$

## 2.2 Tipos de Morfismos

Para caracterizar uma categoria é necessário identificar os objetos e os morfismos.

**Definição 2.2.1** *Se a composição do morfismo  $f$  com o morfismo  $g$  é igual a composição do morfismo  $f$  com o morfismo  $h$ :*

$$f \circ g = f \circ h \rightarrow g = h$$

Então  $f$  é um **monomorfismo**.

A Figura 4 mostra o diagrama de um monomorfismo.

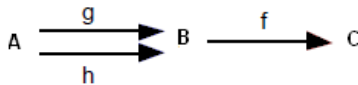


Figura 4: Monomorfismo

**Definição 2.2.2** *Se o diagrama é comutativo, a composição do morfismo  $g$  com o morfismo  $f$  é igual a composição do morfismo  $h$  com o morfismo  $f$ , o que implica que o morfismo  $g$  é igual ao morfismo  $h$ :*

$$g \circ f = h \circ f$$

$$\text{Se } g \circ f = h \circ f \rightarrow g = f$$

Então,  $f$  é um **epimorfismo**.

A Figura 5 mostra o diagrama de um epimorfismo.

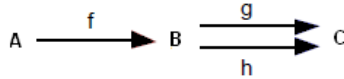


Figura 5: Epimorfismo

**Definição 2.2.3** *Se o morfismo  $g$  é igual ao morfismo  $h$  existe um monomorfismo ( $g = h$ ). Da mesma maneira,  $f$  é epimórfico se  $f = k$ . Portanto,  $f$  é um **isomorfismo**, pois é monomórfico e epimórfico.*

A Figura 6 mostra o diagrama de um isomorfismo. O isomorfismo estabelece, em certo grau de abstração, uma relação de “semelhança ou equivalência” entre objetos.

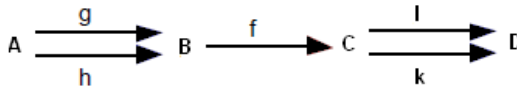


Figura 6: Isomorfismo

A correspondência de objetos de um domínio em outro é produzida pelo morfismo que preserva as características definidas em ambos domínios [80]. Por exemplo, no desenvolvimento de programas orientados a objetos, dois objetos podem ser isomórficos de maneira que tendo as mesmas interfaces e exibem o mesmo comportamento em suas interfaces, mas têm implementações completamente diferentes.

## 2.3 Funtores

Outro conceito importante neste trabalho é a mudança de contexto, ou seja, a mudança de categoria, que pode ser feita por um *Functor* [64] que associa uma categoria a ela mesma ou a outras categorias. A Figura 7 apresenta o diagrama de um funtor associando as categorias  $\mathcal{C}$  e  $\mathcal{D}$ .

**Definição 2.3.1** *Um Funtor é um objeto matemático que dada duas categorias associa objetos a objetos e morfismos a morfismos e deve satisfazer às seguintes condições:*

- O funtor se refere a pares de categorias. As propriedades de um sistema podem ser associadas a outro para a identificação de objetos e propriedades comuns em ambos. Um funtor  $C \xrightarrow{F} \mathcal{D}$  entre duas categorias  $C$  e  $\mathcal{D}$  é dada por:

$$C(A, B) \xrightarrow{F_{A,B}} \mathcal{D}(FA, FB)$$

- Uma composição associativa de funtores gera um novo funtor. Para cada  $f : A \rightarrow B$  e  $g : B \rightarrow C$  em  $C$  tem-se:

$$F(g \circ f) = (Fg) \circ (Ff)$$

- Deve existir o funtor identidade que associa uma categoria a ela mesma. É possível definir características exclusivas de um sistema em outro para aplicação em um domínio específico mesmo não tendo associações diretas;

$$F(id_A) = id_{FA}$$

- Os funtores, assim como os morfismos, podem ser monomórficos, epimórficos e isomórficos.

$$\begin{array}{ccc} A & & FA \\ \downarrow f & \mapsto & \downarrow Ff \\ B & & FB \end{array}$$

Figura 7: Representação de um funtor

## 2.4 Modelos teóricos de Sistemas Hipermídia

Um modelo é o referencial teórico que formaliza todas as características e funções essenciais ou desejáveis, que podem ser incluídas em qualquer aplicação hipertextual. Os *Modelos de Referência*, que são modelos conceituais abstratos dos sistemas de hipertexto / hipermídia, foram criados para estabelecer padrões para intercâmbio entre sistemas hiperdocumentos distintos.

Os primeiros modelos gerais de sistemas hipermídia apareceram no final dos anos oitenta. Dentre os clássicos modelos de referência podem ser citados o “Hypertext Abstract Machine” (HAM) [87], Dexter [2], [88], [89], [90], Trellis [91], [92], R-Model [93], Tower [87], “The Amsterdam Hypermedia Model” (AHM) [94] e Brusilovsky [43].

A evolução dos modelos de referência originou os *Modelos de Métodos de Projeto*. Estes modelos fornecem um conjunto consistente e sistemático de fases que direcionam os autores no processo de projeto e desenvolvimento de hiperdocumentos. Modelos como “Hypermedia Design Model” (HDM) [95], “Oriented-object Hypermedia Design Method” (OOHDM) [96], “Abstract Data Views” (ADV) [97], [98], “Enhanced Object-Relationship Model” (EORM) [99], “Relationship Management Methodology” (RMM), “Relationship Management Data Model” (RMMD) [100], “Educational Hyperdocuments Design Method” (EHDM) [101], “Hypermedia Model Based on Statecharts” (HMBS) [102], “Object - Adaptive Hypermedia Educational Application” (Ob-AHEM) [103], “Adaptive Hypermedia Application Model” (AHAM) [104], [105], “Adaptive Hypermedia Architecture” (AHA) [106], [107], Web Semântica [108], [109] e “UML Web Engineering” (UWE) [110], [111] são metodologias especialmente desenvolvidas para identificar os requisitos de adaptação com foco na adaptação. Estes modelos são clássicos na representação dos sistemas hipermídia e foram referenciados para demonstrar os muitos esforços para definição de arquiteturas padrões, visto que a modelagem de sistemas hipertexto e hipermídia são de alto grau de complexidade [112] [75].

Em todas as arquiteturas existe o consenso geral que um modelo de SHAE deve conter minimamente um modelo de domínio, um modelo de usuário, um modelo de adaptação e mecanismos de interação com o estudante. O trabalho de Saldias [113] apresenta como a formalização pode ser usada para o projeto de mecanismo adaptativo no Módulo de Interface de um ITS. A metodologia utilizada pela autora utiliza a rede neural IAC [114], [115] modelada como autômato, proposta por De Azevedo apud Saldias [34],

[113]. Segundo Saldias [113], quando o estudante age sobre os “links” disponíveis, uma entrada é gerada. O Módulo Tutor processa essa entrada, atualiza a interface e eventualmente o Modelo do Aluno. A interface refletirá então uma nova saída. Como a saída depende do modelo do Aluno (que é constantemente atualizado), a interface resultante é personalizada e dinâmica.

Os trabalhos de Pagano [116], [117], [118], [119], [120] e [121] apresentam uma definição teórica de hipertexto como autômato. Os trabalhos de Almeida [122], [123], [28], [124], [125], utilizando a TC, ampliaram os formalismos propostos por Pagano [121], [118] para concepção de ambientes educacionais.

Se a abordagem for estendida para definições de diferentes categorias, domínios de sistemas, o uso de funtores contribui com as simplificações necessárias [85], [84]. Este trabalho apresenta nas próximas seções três exemplos de diferentes níveis de categorização: nível arquitetural, nível de projeto de uma interface adaptativa e nível de um modelo avaliativo. O objetivo é mostrar a potencialidade da TC para o desenvolvimento de modelos lógicos na metodologia de avaliação de sistemas apresentada no Capítulo 3. Vale ressaltar que o nível de categorização ignora os detalhes de implementação dos sistemas hiperfídia adaptativos.

## 2.5 Categorização da arquitetura

O modelo clássico de um sistema adaptativo educacional proposto por Benyon [2] é composto por *modelo do usuário*, *modelo do domínio* e *modelo de interação*, conforme mostrado na Figura 8.

- O *Modelo do Usuário* representa a opinião do sistema sobre o usuário. Consiste de três componentes interligados: primeiro, o *Modelo do Estudante* que contém as suposições sobre o conhecimento do usuário no domínio considerado. Por exemplo, o sistema pode supor que o usuário saiba como abrir um arquivo de texto. Portanto, esta informação é dependente da aplicação e do domínio. O segundo componente do modelo é o *Perfil do Usuário*, que adquire a informação sobre o conhecimento prévio do usuário, seus interesses e conhecimento geral. E o terceiro componente, o *Modelo Psicológico*, que adota, independentemente do domínio, os traços cognitivo e afetivo do usuário;
- O *Modelo do Domínio* define os aspectos do sistema e do contexto considerado que são importantes para as inferências, isto é, as funções que poderão ser alteradas para promover a adaptação. Estes aspectos



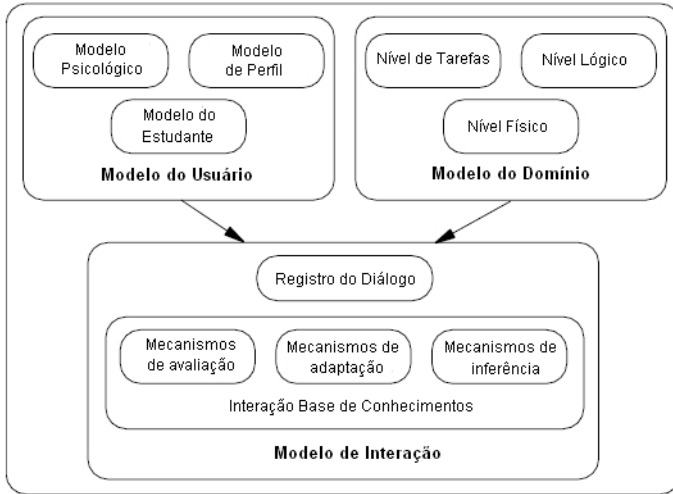


Figura 8: Modelo de Benyon [2]

podem ser descritos em diferentes níveis, tais como *Nível de Tarefas*, *Nível Físico* e *Nível Lógico*. Portanto, o modelo do domínio é a base para todas as inferências e adaptações;

- O *Modelo da Interação* assegura o diálogo entre o usuário e aplicação. Pode registrar as interações precedentes. Contém os *Mecanismos para Adaptação*, os *Mecanismos de Inferência* das propriedades do usuário e os *Mecanismos para Avaliação* dos conteúdos apresentados.

A Figura 9 apresenta um modelo categorizado para o sistema apresentado na Figura 8. Em uma primeira abstração, cada modelo do SHAE pode ser modelado como um objeto [3]. Os modelos do *Usuário*, do *Domínio* e da *Interação* são formalizados como os objetos  $Ob_1$ ,  $Ob_2$  e  $Ob_3$  respectivamente.

**Definição 2.5.1** A Categoria de Objetos  $C_O$  de um SHAE é o par  $(Ob, Mor)$  onde  $Ob$  são os **objetos** da categoria e  $Mor$  são os **morfismos** satisfazendo às seguintes condições:

- Os morfismos se referem a pares de objetos. Existem os pares  $Mor(Ob_1, Ob_2)$ ,  $Mor(Ob_1, Ob_3)$  e  $Mor(Ob_2, Ob_3)$ ;

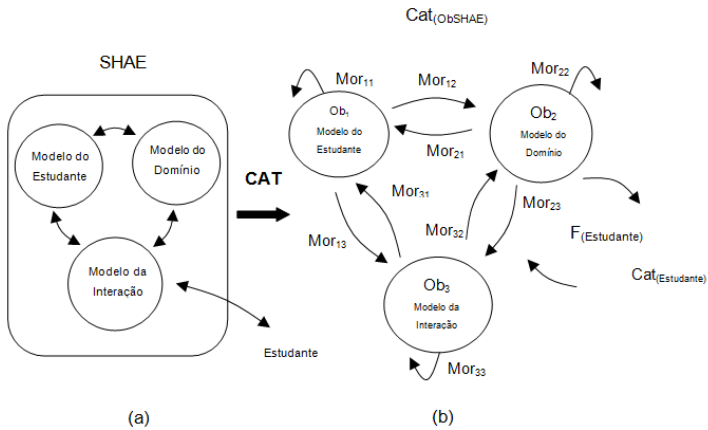


Figura 9: Categorização de objetos de um SHAE [3]

- O objeto  $Ob_1$  pode ser associado ao objeto  $Ob_2$  pelos morfismos:

$$Mor_{12} : Ob_1 \rightarrow Ob_2$$

$$Mor_{21} : Ob_2 \rightarrow Ob_1$$

- O objeto  $Ob_1$  pode ser associado ao objeto  $Ob_3$  pelos morfismos:

$$Mor_{13} : Ob_1 \rightarrow Ob_3$$

$$Mor_{31} : Ob_3 \rightarrow Ob_1$$

- O objeto  $Ob_2$  pode ser associado ao objeto  $Ob_3$  pelos morfismos:

$$Mor_{23} : Ob_2 \rightarrow Ob_3$$

$$Mor_{32} : Ob_3 \rightarrow Ob_2$$

- Uma Composição de morfismos é um morfismo. Existem composições de morfismos, que podem ser mapeadas pelos morfismos  $Mor_{12}$ ,  $Mor_{21}$ ,  $Mor_{13}$ ,  $Mor_{31}$ ,  $Mor_{23}$ ,  $Mor_{32}$ ,  $Mor_{11}$ ,  $Mor_{22}$  e  $Mor_{33}$ .
- Existem composições associativas de morfismos, ou seja, existem links que associam os objetos, tais como:

$$Mor_{12} \circ Mor_{23} = Mor_{31}$$

$$Mor_{23} \circ Mor_{31} = Mor_{12}$$

$$Mor_{31} \circ Mor_{12} = Mor_{23}$$

$$Mor_{32} \circ Mor_{12} = Mor_{13}$$

$$Mor_{13} \circ Mor_{32} = Mor_{21}$$

$$Mor_{21} \circ Mor_{13} = Mor_{32}$$

- Existem os morfismos identidade  $Mor_{11}$ ,  $Mor_{22}$  ou  $Mor_{33}$ . Em outras palavras, os objetos podem estar associados a si mesmos. O usuário pode decidir, por exemplo, não mudar de página no SHAE, ou o sistema pode não mudar o método de apresentação adaptativa ao usuário.

$$Mor_{11} : Ob_1 \rightarrow Ob_1$$

$$Mor_{22} : Ob_2 \rightarrow Ob_2$$

$$Mor_{33} : Ob_3 \rightarrow Ob_3$$

Estes morfismos permitem identificar todos os caminhos no SHAE em um alto nível de abstração, em tempo de projeto, para garantir que não haja quebra no fluxo de informação e que o usuário não se perca no espaço de informação em tempo de execução [126]. Os morfismos permitem a identificação visual de links e nós independentemente da ferramenta de autoria ou da implementação.

Um funtor associa duas categorias. Em termos de transformações de domínios, os SHAE podem ser modelados categoricamente como uma  $Cat_{SHAE}$ :

$$Cat_{SHAE} = (Ob, F_i)$$

Onde  $Ob$  são objetos de uma categoria e  $F_i$  são funtores que associam os objetos da categoria  $Cat_{SHAE}$ . Para associar categorias a outras que consideram as associações de perfis de estudantes utilizam-se funtores  $F_{Estudante}$  que associam categorias de estudantes a outras categorias de estudantes de outro SHAE. Assim uma categoria  $Cat_{ObSHAE}$  de modelos de um SHAE pode ser associada a uma categoria de estudantes  $Cat_{Estudante}$  com características comuns conforme mostrado na Figura 9. Em TC não são consideradas a estrutura interna dos objetos, apenas as relações estabelecidas entre eles pelos seus morfismos [127].

## 2.6 Categorização da Navegação Adaptativa

Esta seção apresenta a modelagem da navegação adaptativa de um sistema hipermídia utilizando a TC. Vários modelos nos mais diversos níveis foram propostos para modelagem da navegação. Alguns utilizando semântica navegacional [95], [100], especificações comportamentais [96], diagramas de transição de estado [102], lógica de primeira ordem [128], [129], Redes de Petri [92], máquinas de estados finitos [130], entre outros.

### 2.6.1 Orientação Direta

A orientação direta sugere um “melhor” nó para o percurso de acordo com as metas e/ou outros parâmetros representados no modelo do usuário. Para oferecer uma orientação direta um SHAE geralmente apresenta um link adicional [131]. De um dado nó, o sistema gera um link para um nó mais apropriado e assim sucessivamente. A orientação direta é aplicada para a decisão de qual próximo passo o usuário deve seguir. Na modelagem de um SHAE existirá somente um link para acessar tal nó particular.

Em uma primeira abstração, esta formalização é oferecida pela TC por um mapeamento feito pelo *morfismo constante*, conforme mostrado na Figura 10.

**Teorema 2.6.1** *Supondo que  $Ob_2$  é um conjunto de um único elemento e  $f$  é conhecido. O morfismo  $f$  associa todos os elementos de  $Ob_1$  a um único elemento de  $Ob_2$ . O morfismo  $h$  envia todos os elementos a  $Ob_1$  para o mesmo elemento  $Ob_3$ .*

**Corolário 2.6.1** *Desde que  $Ob_2$  tenha um único elemento um morfismo  $g$  de  $Ob_2$  para  $Ob_3$  é o mesmo como escolha de um elemento em  $Ob_3$  e a composição  $g \circ f$  enviará todos os elementos de  $Ob_1$  para  $Ob_3$ .*

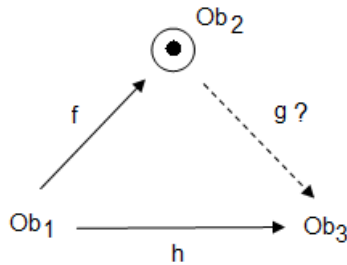


Figura 10: Orientação direta através de morfismo constante

**Corolário 2.6.2** *A categorização por morfismo constante pode ser feita desde que o nó destino seja único.*

Em uma segunda abstração, outra maneira de categorizar a orientação direta é utilizar os conceitos de TC para *Problemas de Determinação*. Esta é uma forma mais generalizada. A Figura 11 mostra o mapeamento para orientação direta feita por determinação.

**Teorema 2.6.2** *Supondo-se a existência de um morfismo  $f$  que mapeia  $Ob_1$  em  $Ob_2$  ( $Ob_1 \xrightarrow{f} Ob_2$ ) e um conjunto  $Ob_3$ . Então cada morfismo  $g$  de  $Ob_2$  para  $Ob_3$  pode ser composto com  $f$  para gerar o mapeamento  $Ob_1 \rightarrow Ob_3$ . Portanto,  $f$  usa um processo que mapeia  $Ob_2$  em  $Ob_3$ , ( $Ob_2 \rightarrow Ob_3$ ) e também oferece o mapeamento  $Ob_1 \rightarrow Ob_3$ .*

**Corolário 2.6.3** *Dado  $f$ , de cada  $g$  pode ser obtido  $g \circ f$ . Assim, dado um conjunto  $Ob_1$  de links conhecidos para a orientação direta do usuário, é possível compor estes links para associação com outro conjunto de nós  $Ob_2$ , que comporão o caminho da navegação.*

### 2.6.2 Ordenação adaptativa de links

Ao invés de disponibilizar um único melhor link, esta técnica apresenta uma lista de links em ordem decrescente de relevância para o usuário. Refere-se à ordenação adaptativa na qual os “links” são apresentados ao usuário segundo sua relevância. A ordenação pode ser por similaridade, pré-requisito, relevância, conhecimento do usuário, etc. A ordenação dos conteúdos é feita de acordo com o perfil do usuário. A partir do nó mais relevante os

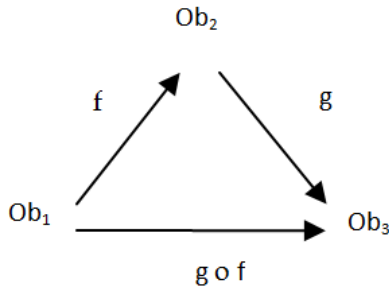


Figura 11: Modelo de Orientação Direta pelo Problema da Determinação

links começam a ser classificados de acordo com o modelo do usuário, sendo apresentados logo após em ordem decrescente. Em que ordem os links devem ser apresentados? A TC pode ser usada para a modelagem da ordenação de links. Observando-se a Figura 12 tem-se um conjunto de links que devem ser classificados de acordo com a relevância  $R$ .

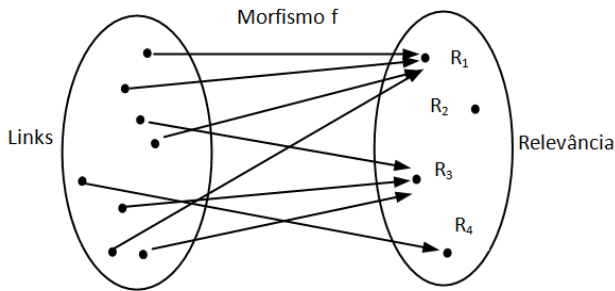


Figura 12: Classificação por relevância (adaptada de Lawvere & Schanuel [4])

**Teorema 2.6.3** *Um dado morfismo  $f$  que mapeia  $Ob_1$  em  $Ob_2$  ( $Ob_1 \xrightarrow{f} Ob_2$ ) ordena os elementos de  $Ob_1$ . Supondo-se que  $Ob_1$  é o conjunto de todos os links que podem ser visualizados pelo usuário e que  $Ob_2$  é o conjunto numérico com as atribuições de relevância dos links, o morfismo  $f$  determina a*

associação de links do conjunto  $Ob_1$  de acordo com sua relevância no conjunto  $Ob_2$ .

**Corolário 2.6.4** Para a ordenação  $(Ob_1 \xrightarrow{f} Ob_2)$  é necessário que cada elemento de  $Ob_2$  tenha seu correspondente não vazio. Em outras palavras, para cada elemento  $ob_2$  de  $Ob_2$  deve haver um elemento  $ob_1$  de  $Ob_1$  tal que  $f(ob_1) = ob_2$ .

Em uma primeira abstração a classificação de links podem ser categoricamente conforme mostra a Figura 13. O morfismo  $f$  classifica todos os links, determina cada link pela sua relevância, e posteriormente os links relevantes serão então classificados novamente para formar os caminhos da navegação adaptativa.

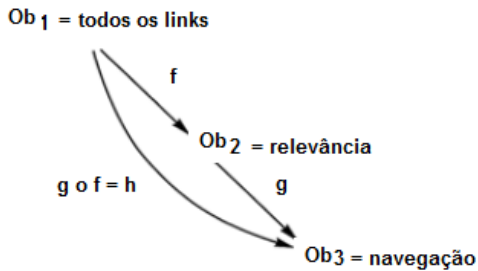


Figura 13: Categorização da ordenação de links

**Teorema 2.6.4** Sendo  $Ob_1$  o conjunto de todos os links e  $Ob_2$  o conjunto de todos os valores relevantes atribuídos de acordo com o nível do usuário. Então  $Ob_1 \xrightarrow{f} Ob_2$  determina a cada link uma atribuição de relevância. Os links relevantes são classificados pelo mapeamento  $Ob_2 \xrightarrow{g} Ob_3$  para se obter o conjunto de links que formam a navegação adaptativa para o usuário em questão. A composição de  $f$  com  $g$  classifica os links para a navegação adaptativa.

**Corolário 2.6.5** A composição dos morfismos é obtida por  $h = g \circ f$  de  $Ob_1$  a  $Ob_3$ .

Em uma segunda abstração, a classificação pode ser feita, de modo mais refinado, por uma propriedade. Conforme mostrado na Figura 14, supondo-se que  $Ob_2$  tem três elementos que representam diferentes atribuições de relevância. Então, sem mudar o morfismo  $f$  é possível rearranjar os elementos de  $Ob_1$  em três diferentes classificações de acordo com o modelo do usuário do SHAE: ordenação de links para usuário de *nível iniciante*, ordenação de links para usuário de *nível intermediário* e ordenação de links para usuário de *nível avançado* [132].

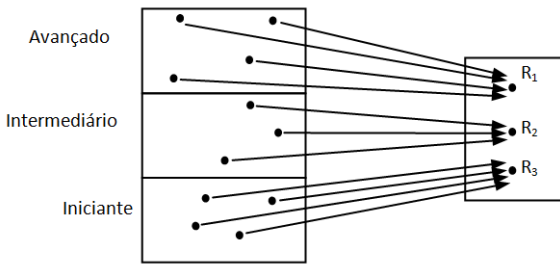


Figura 14: Ordenação por propriedade

**Teorema 2.6.5** Para um mapeamento geral  $(Ob_1 \xrightarrow{f} Ob_2)$  é possível dizer que  $f$  classifica (ou ordena)  $Ob_1$  em  $Ob_2$  ou que o morfismo  $f$  é uma classificação de  $Ob_1$  por  $Ob_2$ .

**Corolário 2.6.6** Esta condição é válida se  $Ob_2$  for constituído de números. Uma vez que  $f$  é dado, cada elemento  $ob_2$  de  $Ob_2$  determina quais elementos de  $Ob_1$  são classificados por  $ob_2$ .

A Figura 14 mostra que a classificação consiste na colocação em um mesmo grupo todos os elementos de  $Ob_1$  que vão para o mesmo elemento de  $Ob_2$ . Categoricamente, o termo utilizado para descrever este tipo de mapeamento é denominado *fibragem*. A fibragem possui sinônimos como empilhamento e classificação.

Os links são divididos em fibras de acordo com a relevância. Portanto, um mapeamento  $Ob_1 \rightarrow Ob_2$  produz uma estrutura no domínio  $Ob_1$  e quando se quer enfatizar tal efeito o mapeamento é referido com a propriedade de valoração de  $Ob_2$ .



A categorização da classificação de links pode ser feita pelo produto fibrado de dois morfismos, conforme mostra a Figura 15.

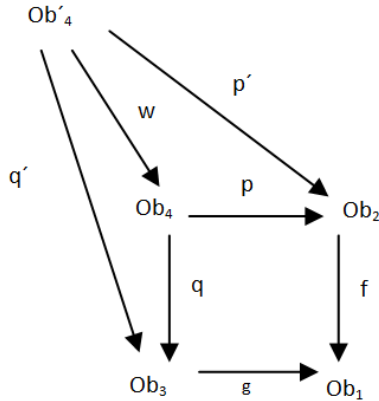


Figura 15: Classificação de links através de Pullback

**Definição 2.6.1** O produto fibrado (“pullback”) é um limite de um diagrama, construído por dois morfismos com um mesmo objeto destino [4].

**Teorema 2.6.6** Dados os morfismos  $f : Ob_2 \rightarrow Ob_1$  e  $g : Ob_3 \rightarrow Ob_1$ , o produto fibrado  $Ob_4$  é dado pelo par de morfismos  $p : Ob_4 \rightarrow Ob_2$  e  $q : Ob_4 \rightarrow Ob_3$  tal que o diagrama comuta:

$$f \circ p = g \circ q$$

**Corolário 2.6.7** Desde que para todos os objetos  $Ob'_4$  e todos os morfismos  $p' : Ob'_4 \rightarrow Ob_2$  e  $q' : Ob'_4 \rightarrow Ob_3$  tal que  $p' \circ f = q' \circ g$  existe um único morfismo  $w : Ob'_4 \rightarrow Ob_4$  tal que  $q \circ w = q'$  e  $p \circ w = p'$ .

É importante notar que cada relevância  $R$  deve ser considerada como um destino. Portanto, esta abstração, para o exemplo dado pela Figura 14 requer que sejam usados três produtos fibrados.

### 2.6.3 Ocultação adaptativa

A ocultação adaptativa de links serve para evitar um excesso de links disponíveis para o usuário, o SHAE oculta links de informações que não são

relevantes, desativando o link de forma a apresentar um texto normal. Refere-se à limitação das possibilidades de navegação, ocultando os “links” que não devem ser apresentados ao usuário (isto é, as informações irrelevantes). É a técnica mais comumente usada e diminui consideravelmente a sobrecarga cognitiva do usuário ao não expor links que não sejam interessantes para o usuário de acordo com o seu modelo.

Quais links não devem ser apresentados? Em TC a ocultação adaptativa de links pode ser resolvida como um *Problema da Escolha* [4]. Os links que serão ocultados são escolhidos dada uma regra de desativação selecionada de um conjunto de links, conforme mostrado na Figura 16.

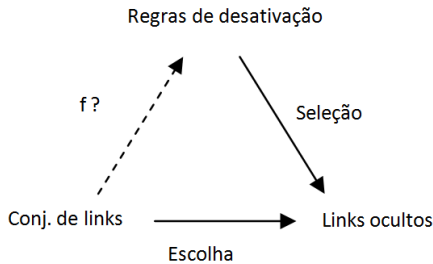


Figura 16: Ocultação de links por regras de desativação

**Teorema 2.6.7** *Supondo-se  $Ob_3$  é um conjunto de links a serem ocultados na apresentação adaptativa,  $Ob_1$  o conjunto de todos os links e  $h$  o morfismo de  $Ob_1$  para  $Ob_3$  que determinará a ocultação dos links. Tomando-se  $Ob_2$  como o conjunto das regras de desativação o problema é encontrar o morfismo  $f$  que associa que a desativação do link de acordo com a sua regra mapeada no conjunto  $Ob_3$  pelo morfismo  $g$ .*

A Figura 17 apresenta a categorização da ocultação de links. De modo a encontrar um morfismo  $f$  tal que  $g \circ f = h$ , deve ser escolhido para cada elemento  $ob_1$  de  $Ob_1$  um elemento  $ob_2$  tal que  $g(ob_2) = h(ob_1)$ .

#### 2.6.4 Geração de links

Refere-se à geração de novos “links” de interesse ao usuário na rede de informações que não tenham sido definidos no momento da autoria. Como

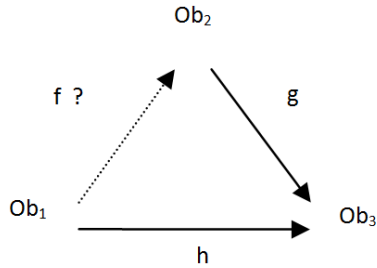


Figura 17: Categorização da Ocultação de links

links interessantes podem ser gerados? A geração de links pode ser categorizada pelo produto categórico, que é uma generalização estrutural da noção de produto cartesiano.

**Definição 2.6.2** O produto cartesiano  $Ob_1 \times Ob_2$  dos objetos  $Ob_1$  e  $Ob_2$  consistem dos pares ordenados  $\langle ob_1, ob_2 \rangle$  onde  $ob_1 \in Ob_1$  e  $ob_2 \in Ob_2$  e existem as projeções  $\pi : Ob_1 \times Ob_2 \rightarrow Ob_1$  e  $\pi' : Ob_1 \times Ob_2 \rightarrow Ob_2$ .

**Teorema 2.6.8** Sendo  $Ob_1$  e  $Ob_2$  os objetos de uma categoria  $\mathcal{C}$ . O produto de  $Ob_1$  e  $Ob_2$  é dado por um objeto  $Ob_4$  e os pares de morfismos  $\pi : Ob_4 \rightarrow Ob_1$  e  $\pi' : Ob_4 \rightarrow Ob_2$  denominados primeira e segunda projeção, respectivamente.

**Corolário 2.6.8** Para cada objeto  $Ob_3$  e o par de morfismos  $f : Ob_3 \rightarrow Ob_1$  e  $g : Ob_3 \rightarrow Ob_2$  existe um único morfismo  $h : Ob_3 \rightarrow Ob_4$  tal que o diagrama é comutativo.

O objeto  $Ob_4$  é considerado um novo link gerado. O diagrama comuta se cada par de percursos através do diagrama é tal que tenham os mesmos pontos iniciais e finais definindo um mesmo morfismo. Portanto, no diagrama da Figura 18 tem-se:

$$\pi \circ h = f$$

$$\pi' \circ h = g$$

Para verificar a comutatividade de um diagrama grande, por exemplo, é suficiente verificar a comutatividade em cada célula [82].

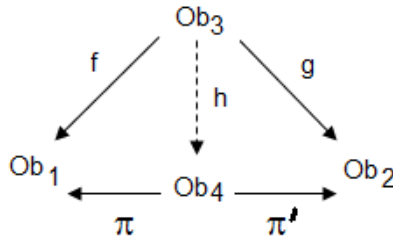


Figura 18: Geração de links pelo Produto

### 2.6.5 Adaptação de mapas

Esta técnica compreende diversas formas de adaptação de mapas de hiper-mídia global e local mostrados ao usuário, aplicada a visualização gráfica da estrutura de navegação (links). Os mapas (locais e/ou globais) e índices são apresentados para facilitar a navegação.

Como apresentar mapas e índices? Em uma primeira abstração, a adaptação de mapas pode ser modelada categoricamente definindo-se sub-objetos. Um sub-objeto é a versão categórica de subconjunto da teoria dos conjuntos. Define-se um subconjunto de objetos  $Ob_1 \subseteq Ob_2$  como um monomorfismo  $f : Ob_3 \rightarrow Ob_2$ .

**Definição 2.6.3** *Se a composição do morfismo  $f$  com o morfismo  $g$  é igual a composição do morfismo  $f$  com o morfismo  $h$ :*

$$f \circ g = f \circ h \rightarrow g = h$$

Então  $f$  é um **monomorfismo**.

A Figura 19 mostra o diagrama de um monomorfismo para mapeamento de percursos em links. Os percursos (representados pelas composições de morfismos) serão equivalentes quando levam ao um mesmo link, independentemente de onde o usuário esteja na navegação.

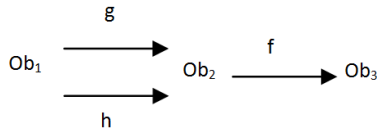


Figura 19: Monomorfismo

A Figura 20 mostra o diagrama equivalente da Figura 4. Os mapas são produzidos como sub-objetos de uma categoria de nós para guiar o usuário em percursos definidos. Os mapas são produzidos como sub-objetos da categoria de nós que visam orientar o usuário em percursos definidos. Caso existam muitos morfismos definindo o mesmo subconjunto, pode ser introduzida uma classe de equivalência para definir os sub-objetos utilizando esta classe.

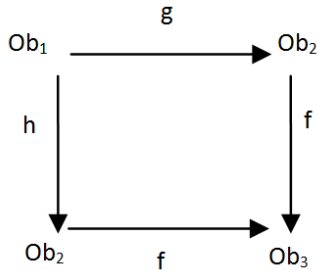


Figura 20: Diagrama equivalente

**Teorema 2.6.9** *Seja  $C$  uma categoria. Se  $f : b \rightarrow a$  e  $g : c \rightarrow a$  são duas setas com destino comum  $a$ , então é dito que  $f \leq g$  se e somente se existe  $h : b \rightarrow c$  tal que  $g \circ h = f$ . Se  $f \leq g$  e  $g \leq f$  então dizemos que  $f \cong g$  e  $\cong$  é uma relação de equivalência entre monomorfismos com destino comum.*

Em uma segunda abstração, os índices podem ser modelados com a soma amalgamada conforme mostra a Figura 21. A soma amalgamada é o conceito dual do produto fibrado. Assim, um índice é um ponto para o qual convergem os diversos links do sistema. Em uma interface adaptativa, esta

categorização potencializa o efeito de construção de índices de acordo com o modelo do usuário.

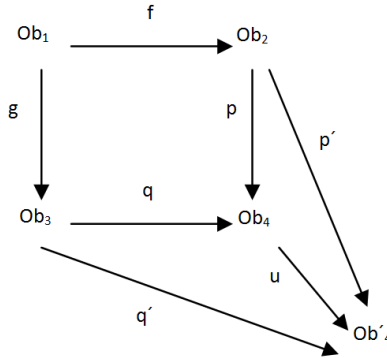


Figura 21: Pushout de dois morfismos  $f$  e  $g$

**Definição 2.6.4** A soma amalgamada (“pushout”) é o colimite de um diagrama constituído de dois morfismos com um mesmo objeto origem [4].

**Teorema 2.6.10** Dados  $f : Ob_1 \rightarrow Ob_2$  e  $g : Ob_1 \rightarrow Ob_3$ , a soma amalgamada  $Ob_4$  é dada pelo par de morfismos  $p : Ob_2 \rightarrow Ob_4$  e  $q : Ob_3 \rightarrow Ob_4$  tal que o diagrama comuta.

$$p \circ f = q \circ g$$

**Corolário 2.6.9** Desde que para todos os objetos  $Ob'_4$  e todos os morfismos  $p' : Ob_2 \rightarrow Ob'_4$  e  $q' : Ob_3 \rightarrow Ob'_4$  tal que  $p' \circ f = q' \circ g$  existe um único morfismo  $u : Ob_4 \rightarrow Ob'_4$  tal que  $u \circ q = q'$  e  $u \circ p = p'$ .

Os morfismos permitem a identificação visual de links e nós independentemente da ferramenta de autoria ou da implementação.

### 2.6.6 Anotação adaptativa de links

Os links são comentados para indicar sua relevância, ou seja, as âncoras apresentam um aspecto visível diferente para mostrar a relevância do destino. São realizadas diferentes modificações em um link com o intuito de

aumentar suas informações, informando ao usuário o que virá nos próximos nodos. A agregação de mais informação aos “links” é dada oferecendo-se mais informações sobre os nós de destino dos “links”. As anotações podem ser textuais, visuais (com ícones, cores ou tamanho de fontes).

A anotação adaptativa de links pode ser representada categoricamente com a soma conforme mostra a Figura 22.

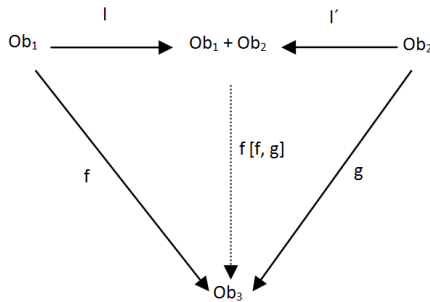


Figura 22: Soma de objetos

**Definição 2.6.5** A soma, ou co-produto é o conceito dual de produto. Na soma os morfismos são chamados de inclusões [82].

**Teorema 2.6.11** Considerando-se os objetos  $Ob_1$  e  $Ob_2$  em uma Categoria  $C$ . Eles possuem soma se o objeto formado por  $Ob_1 + Ob_2$  é dotado de injeções.

$$Ob_1 \xrightarrow{l_{Ob_1, Ob_2}} Ob_1 + Ob_2 \xleftarrow{l'_{Ob_1, Ob_2}} Ob_2$$

**Corolário 2.6.10** Para cada objeto  $Ob_3$  e par de morfismos  $f : Ob_1 \rightarrow Ob_3$  e  $g : Ob_2 \rightarrow Ob_3$  existe um único morfismo  $[f, g] : Ob_1 + Ob_2 \rightarrow Ob_3$  tornando o diagrama comutativo.

Na Figura 23, considerando-se na modelagem de anotação de links que o par  $Ob_1 \xrightarrow{a} Ob_3, Ob_2 \xrightarrow{b} Ob_3$  de morfismos em uma categoria faz uma soma  $Ob_3$  de  $Ob_1$  e  $Ob_2$  se cada objeto de  $Ob_4$  e cada par  $Ob_1 \xrightarrow{c} Ob_4, Ob_2 \xrightarrow{d} Ob_4$  é exatamente um mapa  $Ob_3 \xrightarrow{e} Ob_4$  para ambos  $c = e \circ a$  e  $d = e \circ b$ .

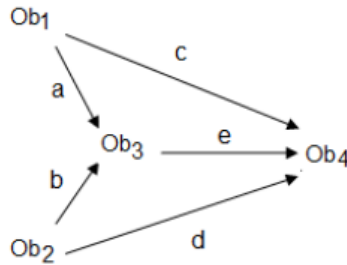


Figura 23: Categorização da anotação adaptativa de links

Os morfismos  $a$  e  $b$  são denominados morfismos de injeção da soma, representando a modelagem do que virá ao usuário através das agregações feitas no conjuntos de links, representados por  $Ob_1$  e  $Ob_2$ .

## 2.7 Modelagem de um Tutorial de Neuroanatomia

Um modelo categórico visa representar em alto nível as conexões que podem ser feitas entre os componentes de um tutorial de neuroanatomia. Das demonstrações feitas é possível definir um SHAE como:

**Definição 2.7.1** *Um SHAE é uma tripla mínima  $\langle ME, MD, MI \rangle$ .*

onde:

*ME é o modelo do Estudante;*

*MD é o modelo do Domínio;*

*MI é o modelo da Interação;*

Na definição 2.7.1 é possível inserir também outros modelos, por exemplo, um modelo pedagógico. Em termos categóricos, bastaria colocar um objeto que o representasse.

A utilização da TC pode complementar os métodos de projeto simplificando o processo de modelagem. Uma importante contribuição desta teoria é ilustrar os mapeamentos entre diferentes níveis da arquitetura do programa. As sub-seções seguintes apresentam as principais técnicas usadas em um projeto de um tutorial de Neuroanatomia [125]. A Figura 24 mostra a tela do sistema interativo, denominado de Laboratório Virtual de Neuroanatomia



(LVN) [133], desenvolvido na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil.



Figura 24: Tela do Sistema Educacional de Neuroanatomia

O LVN é um sistema hipermídia convencional, sem mecanismos de adaptatividade. A TC foi a metodologia escolhida como um método formal de abstração em alto nível para o projeto da navegação adaptativa. As partes principais da estrutura do sistema foram categorizadas como quatro objetos distintos:

- $Ob_1$  - página de apresentação do LVN,
- $Ob_2$  - Conteúdo,
- $Ob_3$  - Prática,
- $Ob_4$  - Mapa do site e;
- $Ob_5$  - Sistema interativo.

A parte projetada consiste de um agente (robô) que apresenta o efeito das drogas no sistema nervoso e posteriormente aplica um questionário para o estudante. A navegação adaptativa tem por objetivo auxiliar os usuários a seguirem os percursos no hiperespaço pela adaptação da forma de apresentação dos links da rede hipermídia. A categorização é usada para modelar as ações

relacionadas a adaptação da navegação, a qual muda a estrutura da navegação ou como a esta estrutura é apresentada ao usuário. A Figura 25 mostra representações da orientação direta, classificação e geração de links no contexto educacional na tela do LVN. Para simplificação, foi considerado somente o projeto de uma única página (página 5) do sistema interativo, especificado na modelagem como objeto  $Ob_5$ . Esta página apresenta um questionário ao estudante.

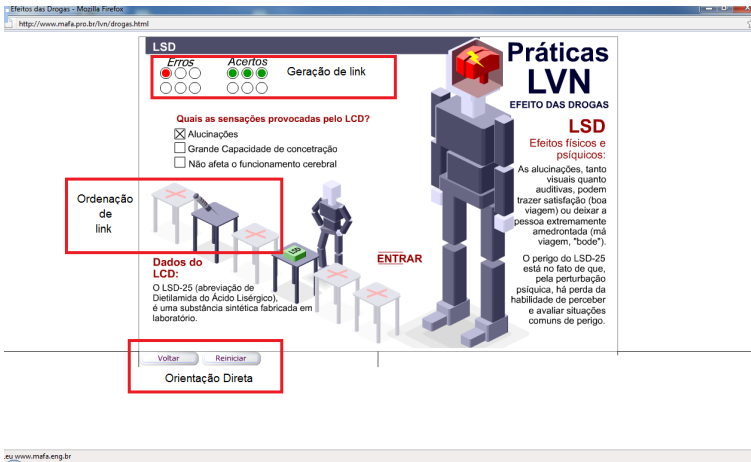


Figura 25: Links da navegação adaptativa do LVN

Considerando-se cada página como um objeto de uma categoria de páginas e cada objeto (links, imagens, ações) como sub-objetos desta categoria de páginas é possível refinar a estrutura.

A letra (a) da Figura 26 mostra a orientação direta na modelagem categórica de uma página de prática do LVN. Em uma primeira abstração, a formalização da orientação direta é oferecida pela TC através do mapeamento feito por um morfismo constante. Sendo  $Ob_3$  como um único nó alvo é equivalente a uma única escolha para a orientação direta no SHAE, se existe um morfismo  $g$  que mapeia  $Ob_2$  a  $Ob_3$ , a composição  $h = g \circ f$  enviará todos os elementos de  $Ob_1$  a  $Ob_2$  para formar a estrutura de apresentação de links na navegação. Supondo-se que  $Ob_2$  é um conjunto de um único elemento, sendo  $f$  conhecido, ele conduz todos os elementos de  $Ob_1$  a um único elemento de  $Ob_2$ . O morfismo  $h$  deve enviar todos os elementos de  $Ob_1$  aos mesmos

elementos de  $Ob_3$ .

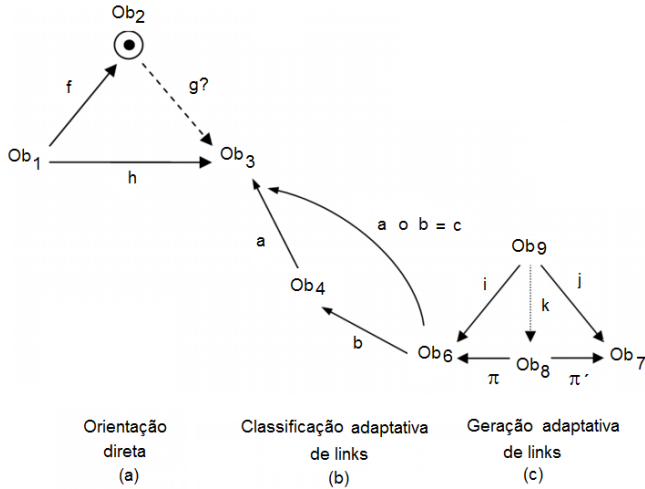


Figura 26: Denotação categórica da navegação adaptativa de uma página do LVN

A letra (b) da Figura 26 mostra a especificação da ordenação de links na página objeto do Sistema Interativo de Prática. Os morfismos classificam todos os links para formar os caminhos da navegação adaptativa. Se  $Ob_6$  é o conjunto de todos os links e  $Ob_4$  é o conjunto de todos os valores relevantes são determinados de acordo com o nível do usuário. Então o morfismo determina cada link com uma relevância.

A letra (c) da Figura 26 mostra a geração de novos links de interesse para os usuários que não foram definidos na autoria na rede de informação. A modelagem da geração de links foi formalizada pelo produto categórico.

Conforme mostrado na Figura 26, o objeto  $Ob_8$  é considerado como um novo link (ou conjunto de links) gerado(s). Considerando que  $Ob_6$  e  $Ob_7$  são objetos da categoria  $C$  ("Questões e respostas"), o produto de  $Ob_1$  e  $Ob_2$  é dado pelo objeto  $Ob_4$  e o par de morfismos  $\pi: Ob_4 \rightarrow Ob_1$  e  $\pi': Ob_4 \rightarrow Ob_1$  que são denominados de primeira e segunda projeção, respectivamente. Para cada objeto  $Ob_9$  e o par de morfismos  $i: Ob_9 \rightarrow Ob_6$  e  $j: Ob_9 \rightarrow Ob_7$  existe um único morfismo  $k: Ob_9 \rightarrow Ob_8$  tal que o diagrama é comutativo. O objeto  $Ob_4$  é considerado como um novo link (ou conjunto de links) gerado(s). O

diagrama comuta, se cada par de caminhos através do diagrama é tal que eles têm os mesmos pontos de início e extremidade definindo um mesmo morfismo. Portanto, do diagrama na letra (c) da Figura 26, temos:

$$\pi \circ k = i$$

$$\pi' \circ k = j$$

Os morfismos identidade podem representar, por exemplo, as ligações que associam uma página a si mesma, o comportamento do usuário que pode decidir não alterar a página do SHAE, o comportamento do sistema que não muda o método de apresentação da adaptação para o aluno, entre outros.

O diagrama da Figura 27 foi utilizado para descrever os caminhos da navegação de uma página do tutorial de Neuroanatomia. Tal descrição permite identificar problemas com a navegação. A utilização da TC fornece um alto grau de generalização da representação conceitual do sistema. O nível de abstração e generalidade oferecidos permite sua utilização no desenvolvimento de SHAE de diferentes modelos. O modelo formal de navegação adaptativa simplifica a estruturação dos links de forma a reduzir os problemas de orientação, mantendo o grau de liberdade na navegação.

## 2.8 Modelo formal da avaliação

O primeiro passo na avaliação de um sistema é a definição de um modelo formal de avaliação. Portanto, torna-se necessário especificar um modelo lógico de alto nível, que possa permitir aos Engenheiros Biomédicos lidar com a complexidade das técnicas de avaliação e da Engenharia de Software. Os estudos desenvolvidos por Morisio [134], Pretonus [135] e Gupta [136] apresentam a modelagem formal de avaliação de um Produto de Software(PS).

Na avaliação dos SHAE além dos aspectos objetivos que podem ser avaliados com o auxílio de padrões, existem os aspectos subjetivos da aprendizagem. A TC pode ser usada para o dimensionamento de modelos avaliativos. Considerando-se que um modelo mínimo de SHAE é composto de modelos do usuário, do domínio e da interação, é possível utilizar novamente o modelo de Benyon [2] para criar um modelo avaliativo.

A Figura 28 mostra que a categorização arquitetural para um modelo de avaliação de componentes de um SHAE. Na Figura 8 os modelos do usuário, domínio e interação foram sub-divididos em perfis, níveis e mecanismos. Em uma primeira abstração os modelos de usuário, domínio e interação, antes

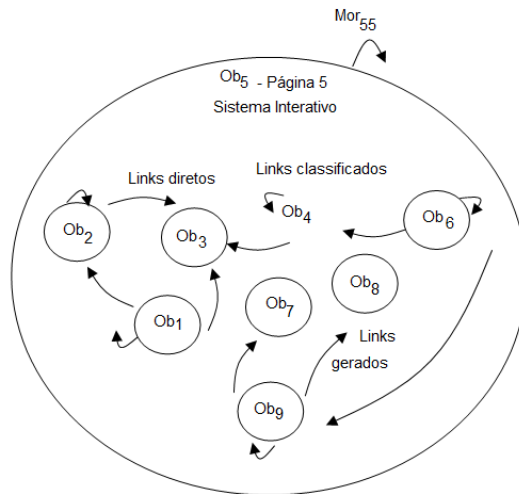


Figura 27: Diagrama equivalente para a denotação da navegação adaptativa da página 5

tratados como objetos  $Ob_1$ ,  $Ob_2$  e  $Ob_3$ , respectivamente, podem ser tratados cada qual como uma categoria.

A categoria de objetos do modelo do usuário  $Cat_{us}$  pode ser obtida definindo-se que os perfis psicológico, genérico e do estudante, sejam objetos. Assim, a categoria  $Cat_{us}$ , modelo do usuário, possui como objetos:

- $Ob_4$  - Perfil psicológico;
- $Ob_5$  - Perfil genérico;
- $Ob_6$  - Perfil do estudante.

Da mesma forma o modelo do domínio ( $Ob_2$ ) pode ser visto como uma categorias de objetos. Portanto, a categoria  $Cat_{dm}$ , modelo do domínio, possui como objetos:

- $Ob_7$  - Nível físico;
- $Ob_8$  - Nível lógico;

- $Ob_9$  - Nível de tarefas.

O mesmo pode ser feito para o modelo da interação ( $Ob_3$ ). Então a categoria  $Cat_{int}$ , modelo do domínio, possui como objetos:

- $Ob_{10}$  - Registro de diálogo;
- $Ob_{11}$  - Mecanismos de inferência;
- $Ob_{12}$  - Mecanismos de adaptação;
- $Ob_{13}$  - Mecanismos de avaliação;

Os modelos do SHAE podem ser categorizados como categorias de modelos usuário ( $Cat_{us}$ ), domínio ( $Cat_{dm}$ ) e interação ( $Cat_{int}$ ) conforme mostra a Figura 29. Esta abordagem parece interessante para encontrar propriedades universais dos sistemas, em diferentes níveis e módulos.

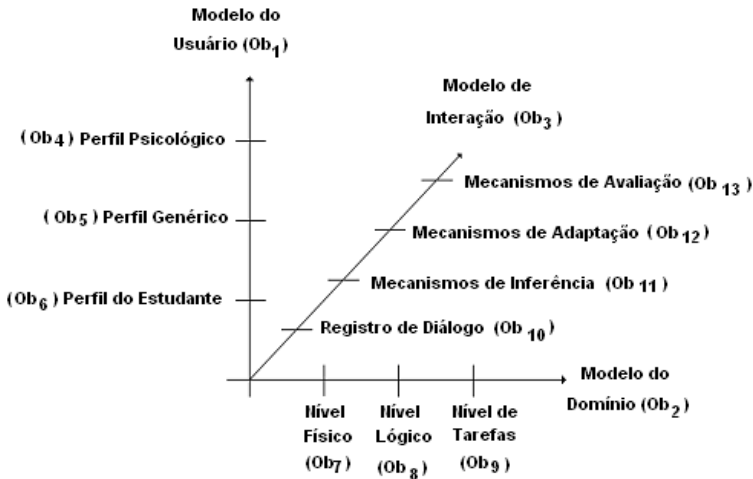


Figura 28: Categorização dimensional dos componentes do SHAE [5]

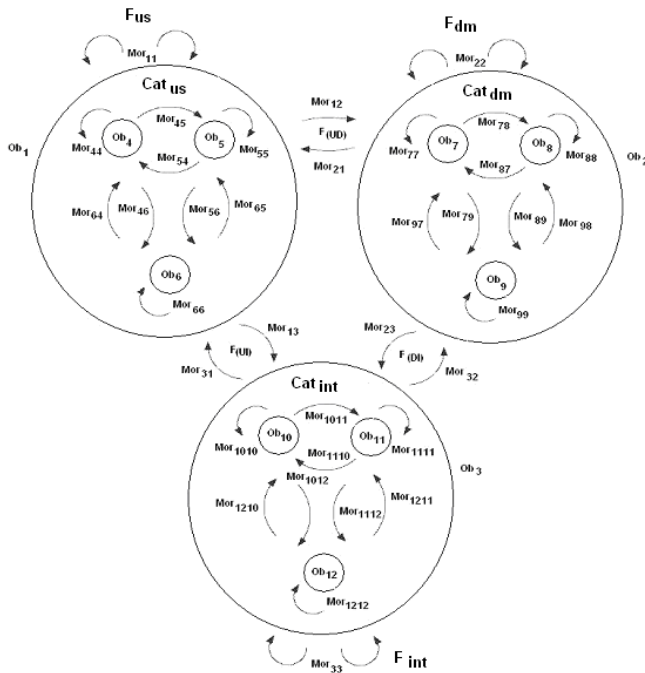


Figura 29: SHAE categorizado [3]

A Figura 29 mostra que a associação entre as categorias podem feitas pelos funtores  $F_{us}$ ,  $F_{dm}$  e  $F_{int}$ , relacionados às categorias de modelos de usuários, modelos de domínios e modelos de interação, respectivamente. No caso de especificação de um SHAE, a TC pode ser usada em todos os níveis. Por exemplo, é possível identificar categorias de SHAE, modelos de domínios, modelos de usuários e de modelos de adaptação. Assim como é possível categorizar apenas os objetos e sub objetos de diferentes SHAE.

O uso de functor esquecedor para o modelo de adaptação de um SHAE pode representar o modelo de um sistema, que não tem mecanismo adaptativo. Outra vantagem é que como a TC é baseada em diagramas, este conceito primitivo é mais natural na definição dos aspectos estáticos e dinâmicos do modelo.

No caso de especificação de um SHAE, a TC pode ser usada em todos

os níveis. Por exemplo, é possível identificar categorias de SHAE, modelos de domínios, modelos de usuários e de modelos de adaptação. Assim como é possível categorizar apenas os objetos e sub-objetos de diferentes SHAE.

Como as avaliações podem ser vistas como complementares aos métodos de verificação, validação, correção formal, teste e inspeção, este Capítulo apresentou a TC como um ferramental matemático no desenvolvimento de modelos aplicáveis à modelagem de estruturas e avaliação de SHAE. Os modelos categóricos apresentados não são únicos, serviram de exemplos para mostrar as possibilidades de aplicação da TC em sistemas complexos.

Conforme abordado neste Capítulo os princípios da abordagem categórica são:

- Os componentes são modelados como objetos;
- As configurações do sistema são modeladas como diagramas que mostram a maneira na qual os os componentes estão interconetados;

O uso da TC permite representações mais complexas no espaço topológico. Os métodos formais como a TC complementam outras abordagens no desenvolvimento de sistemas. Este Capítulo mostrou que os conceitos apresentados são extensíveis a qualquer sistema, independente da plataforma, número de objetos a serem definidos e associações entre eles. Foi apresentada a potencialidade da TC para abstração de sistemas informais, desenvolver modelos construtivos formais com sucessivos refinamentos e utilizar linguagens semi-formais para implementá-los. O uso destes métodos não garante a priori a correção. Todavia, podem aumentar o entendimento dos sistemas.

O processo de adaptação depende diretamente da forma e da estruturação dos SHAE. Existem diversas estruturações e arquiteturas, algumas comuns, contendo modelos de usuário, modelo de domínio, modelo de adaptação e modelo pedagógico.

Os SHAE tornaram-se sistemas complexos, com mecanismos de adaptação e apresentação da interface constituída de práticas, simulações, componentes anatômicos virtuais, módulos para conexão de equipamentos, interfaces tridimensionais, entre outras características. Nestes sistemas deve ser garantido que além da construção correta, o mesmo tenha um comportamento adequado, ou seja, é preciso não somente construir corretamente, mas também garantir que as pessoas utilizem corretamente o sistema. As avaliações podem fornecer diretrizes para melhoria de sistemas existentes e direcionamento para implantação de novos sistemas conforme será mostrado no Capítulo 3.



### 3 METODOLOGIA DA QUALIDADE

*“Quality is a complex concept. Because it means different things to different people, it is highly context-dependent. Just as there is no one automobile to satisfy everyone’s needs, so too there is no universal definition of quality. Thus, there can be no single, single measure of software quality acceptable to everyone.”*

Barbara Kitchenham [137]

A avaliação é a investigação sistemática de mérito, valor ou significado de um objeto [138]. Em qualquer tipo de avaliação é importante estudar os tipos, os benefícios, os envolvidos e as restrições da avaliação [134], [139]. O problema da avaliação de sistemas computacionais é encontrar os fatores que influenciam as características ambientais e as medidas de desenvolvimento para os diferentes atributos de interesse. Este capítulo apresenta uma proposta de metodologia para a avaliação multidimensional de SHAE.

Os métodos multi-dimensionais [140] ganharam espaço nas avaliações de programas [42],[136], [141], [142], [143], [144], [145], através de indicadores [146],[147]. A abordagem multi-dimensional é geralmente hierarquizada, quanto mais específico for um indicador, maior será seu nível de detalhe e frequência de cálculo; em compensação, quanto mais global ele for, maior será sua abrangência de funções e processos [47]. A abordagem se mostra bem útil, pois as avaliações de SHAE podem ser feitas tanto no processo de desenvolvimento do software, quanto no seu uso.

Considerando um SHAE como um potencial PS, a metodologia referencia as normas da “International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission” (ISO/IEC) (9126 [148], 14598 [6]) para avaliação destes sistemas. Para exemplificar a aplicação da metodologia é apresentado o processo avaliativo de um tutorial de Neuroanatomia para estimação de sua qualidade. Além disso, são propostas medidas para avaliação dos aspectos pedagógicos do sistema. Os sistemas em EB são aqui denominados *avaliandos*.

Existem muitas abordagens sobre os processos avaliativos. A avaliação formativa considera os modelos de qualidade interna e externa, desenvolvidos durante o processo de desenvolvimento. A avaliação somativa [149] considera o modelo de qualidade em uso. Dentre os inúmeros trabalhos que podem ser encontrados na literatura [37], [40], [46], [47], [50], [134], [135], [137], [138], [139],[140], [141], [150], [151], [152], [153], [154] e [155].

O processo avaliativo pode ser sumarizado nos seguintes passos [156]:

1. Determinar as atividades da avaliação (formativas ou somativas): as metas e objetivos devem ser claramente especificados.
2. Descrever rigorosamente o modelo lógico: devem ser apresentados os detalhes da avaliação através de uma especificação formal.
3. Produzir um plano de avaliação: deve-se decidir como conduzir a avaliação. Alguns elementos-chaves devem ser considerados no plano: qual o alvo da avaliação, quais questões deverão ser respondidas, como a avaliação deverá ser projetada, quais os dados deverão ser coletados e como, por quem e quais produtos finais serão produzidos.
4. Desenvolver a coleta de dados e o plano de análise: é necessário verificar quais são os dados existentes, qual a qualidade destes dados e se eles realmente estão disponíveis em uma forma utilizável. Alguns pontos importantes devem ser considerados no desenvolvimento de estratégias de coleta de dados para a avaliação. Estes pontos incluem:
5. Analisar os dados: utilizando uma ferramenta de análise.
6. Escrever e divulgar o relatório da avaliação;
7. Utilizar os resultados para modificações tanto na avaliação quanto no objeto a ser avaliado.

### 3.1 O Modelo ISO/IEC 14598

Este trabalho considera a sistematização oferecida pelas normas ISO/IEC 9126 [148] e ISO/IEC 14598 [6], pois a qualidade do sistema pode ser avaliada pela medição dos atributos internos (tipicamente medidas estáticas de produtos intermediários), pela medição dos atributos externos (tipicamente medidas do comportamento do código quando executado) ou pela medição dos atributos de qualidade em uso. O objetivo é que o sistema tenha o efeito desejado em um contexto particular de uso.

No Brasil, existem traduções e adaptações feitas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para avaliação de PS. A série de normas ISO/IEC 14598 [6], [157], [158], [159], [160] e [161] complementam a ISO/IEC 9126 [148], [162], [163], [164] orientando o planejamento e a execução do processo de avaliação da qualidade do PS. A Figura 30 mostra a representação de um processo avaliativo definido na norma ISO/IEC 14598 [6].

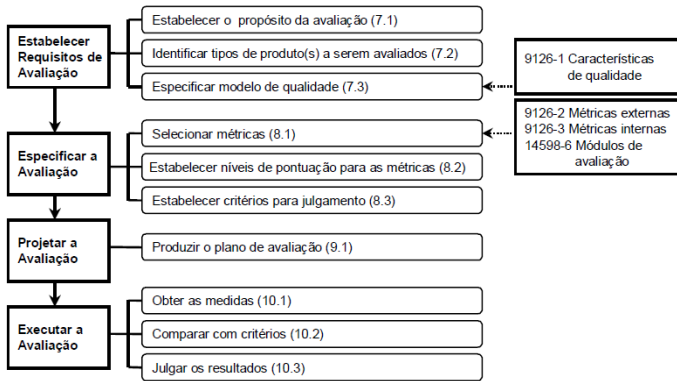


Figura 30: Processo de Avaliação - Norma ISO-IEC 14598 [6]

### 3.1.1 Requisitos da avaliação

Nesta etapa foram definidos os propósitos da avaliação, identificado o avaliando e especificado o modelo de qualidade. Foram definidas as estruturas avaliadas em um SHAE de acordo com o modelo estrutural desejado. Nos requisitos da avaliação são definidos:

1. Propósitos da avaliação (item 7.1 da ISO/IEC 14598): foram definidos os objetivos da avaliação. Os instrumentos utilizados nesta etapa são mostrados no Apêndice A.
2. Identificação do avaliando (item 7.2 da ISO/IEC 14598): foi identificado o avaliando: tutorial de neuroanatomia.
3. Especificação do Modelo de Qualidade (item 7.3 da ISO/IEC 14598): que representam os atributos de qualidade de software classificados em uma estrutura de árvore hierárquica de características e subcaracterísticas. O nível mais alto desta estrutura é composto pelas características de qualidade e o nível mais baixo é composto pelos atributos de qualidade do software. Cada característica possui subcaracterísticas que são manifestadas externamente quando o software é usado como resultado de atributos internos. A norma ISO/IEC 9126-2 [162] apresenta as métricas externas que se referem às medições indiretas de um sistema a

partir do seu comportamento computacional ou do seu efeito no ambiente quando da execução de seus programas. A norma ISO/IEC 9126-3 [163] apresenta as métricas internas (relativas à arquitetura do produto) que referem-se a medições de um sistema a partir de suas próprias características internas, sem a necessidade de execução dos programas, como por exemplo, linhas de código, número de erros encontrados em revisões, etc.

O modelo de qualidade escolhido foi de qualidade interna e externa da norma ISO/IEC 9126-1 [148] considerando seus seis grandes grupos de características resumidas a seguir:

- (a) Funcionalidade: é a capacidade do sistema de prover funções que atendam às necessidades explícitas e implícitas, quando este for utilizado sob condições especificadas.
- (b) Confiabilidade: é a capacidade do sistema em manter um nível de desempenho especificado, quando o sistema é usado em condições especificadas.
- (c) Usabilidade: é a capacidade do sistema de ser compreendido, aprendido, operado e atraente ao usuário, quando usado sob condições especificadas.
- (d) Eficiência: é a capacidade do sistema em apresentar um desempenho apropriado, relativo à quantidade de recursos usados, sob condições especificadas.
- (e) Manutenibilidade: é a capacidade do sistema de ser modificado. As modificações podem incluir correções, melhorias ou adaptações do software devido a mudanças no ambiente e nos seus requisitos ou especificações funcionais.
- (f) Portabilidade: é a capacidade do sistema de ser transferido de um ambiente para outro.

A norma ISO/IEC 9126-4 [164] apresenta as Métricas de qualidade em uso que definem a validação da qualidade de sistema em cenários e tarefas comuns ao usuário. A qualidade em uso é o efeito combinado para o usuário das seis características de qualidade interna e externa. Os atributos da qualidade em uso são categorizados pelas características:

1. Efetividade: é a capacidade do sistema em possibilitar ao usuário de atingir metas especificadas com exatidão e completeza, em um contexto de uso especificado.

2. **Produtividade:** é a capacidade do sistema de possibilitar aos usuários utilizarem uma quantidade adequada de recursos em relação à efetividade alcançada em um contexto de uso especificado.
3. **Segurança** é capacidade do sistema em oferecer níveis aceitáveis de risco de danos a pessoas, organizações, software, propriedade ou ao ambiente, em um contexto de uso especificado.
4. **Satisfação:** refere-se à capacidade do sistema em satisfazer usuários em um contexto de uso especificado.

### 3.1.2 *Especificação da avaliação*

Segundo Koscianski [165] a forma pela qual as características de qualidade têm sido definidas não permite sua medição direta. É necessário estabelecer métricas que se correlacionem às características do PS.

Na especificação da avaliação tem-se as seguintes etapas:

1. Seleção de métricas (item 8.1 da ISO/IEC 14598): todos atributos internos e externos quantificáveis do software interagindo com ambiente e que se correlacionem com uma característica, podem ser definidos como uma métrica [166].
2. Estabelecimento de níveis de pontuação para as métricas (item 8.2 da ISO/IEC 14598): as particularidades quantificáveis podem ser medidas quantitativamente usando-se métricas de qualidade. O resultado, isto é, o valor medido, é mapeado em uma escala. Os resultados dos cálculos das métricas selecionadas para este trabalho são apresentados no Apêndice B.
3. Estabelecimento de critérios para julgamento (item 8.3 da ISO/IEC 14598): para julgar a qualidade, o resultado da avaliação de cada característica foi sintetizado em procedimentos com critérios diferentes para características de qualidade diferentes, onde cada característica é representada em termos de suas subcaracterísticas ou de uma combinação ponderada de subcaracterísticas [6]. A Tabela 1 apresenta a classificação de um programa sugerido pela ISO/IEC 9126 que foi utilizada na avaliação do tutorial de neuroanatomia. Os cálculos dos níveis de qualidade são apresentados na seção 3.3.

O método, baseado na ISO/IEC 9126 [165] utilizado para obtenção dos resultados sintéticos de avaliação, é descrito a seguir:

Tabela 1: Níveis de classificação para julgamento de um programa

Classificação	Nível de Qualidade em %	Julgamento
Excelente	90,1 a 100	Aceito
Bom	75,1 a 90	Aceito
Satisfatório	60,1 a 75	Aceito com restrições
Regular	50,1 a 60	Necessita de verificação
Insatisfatório	0 a 50	Rejeitado

- Etapa 1): mapear todos os resultados de métricas para uma escala [0, 1], em que 0 significa o pior resultado possível, enquanto 1 representa o melhor. A maioria das métricas sugeridas na 9126-2 e 9126-3 já segue esse padrão.
- Etapa 2): estabelecer pesos para as características e subcaracterísticas de qualidade de software. Os pesos devem representar a importância relativa de cada item no julgamento global de qualidade do produto.
- Etapa 3): calcular médias ponderadas usando os valores das métricas e os pesos das respectivas características ou subcaracterísticas.

É possível assim calcular médias agrupando as métricas de cada característica de qualidade. Por exemplo, calcular uma média ou nota ponderada para usabilidade, dadas as métricas relacionadas com as subcaracterísticas de usabilidade e os pesos atribuídos a cada subcaracterística. O mesmo pode ser feito com cada característica, separadamente. O processo pode ser repetido no nível de características de qualidade, permitindo que se compute um índice (ou nota) único, representando a qualidade do software [165].

As seguintes equações [167] podem ser usadas para calcular os níveis de qualidade de características, sub-características internas / externas e de qualidade em uso de um SHAE.

$$SQL = \frac{\left( \sum_{i=1}^n qm_i \right)}{n} \quad (3.1)$$

$$CQL = \frac{\left( \sum_{i=1}^m SQL_i \right)}{m} \quad (3.2)$$

$$QL = \frac{\left( \sum_{i=1}^L CQL_i \right)}{L} \quad (3.3)$$

onde:

$SQL$  é o nível de qualidade das sub-características,

$CQL$  é o nível de qualidade das características,

$QL$  é o nível de qualidade interna/externa/em uso,

$qm$  é a medida de qualidade selecionada,

$n$  é o número de medidas selecionadas de cada sub-característica,

$m$  é o número de sub-características selecionadas de cada característica e;

$L$  é o número de características interna/externa/em uso selecionadas para avaliação.

O cálculo da ponderação [167], [168] é dado por:

$$P_{sc} = \frac{W_n}{N_q} \times 100 \quad (3.4)$$

$$P_c = P_{sc} * W_{sc} \quad (3.5)$$

$$P_f = \sum P_c \quad (3.6)$$

Onde:

$P_{sc}$  é a pontuação das sub-características,

$W_n$  é o peso das respostas em escala valorada,

$N_q$  é o número de questões de cada sub-característica,

$W_{sc}$  é o peso das sub-características,

$P_f$  é o nível de pontuação da qualidade final do programa.

No caso da qualidade em uso, não existem sub-características para cada característica, mas uma série de medidas relacionadas. A equação 3.7

pode ser usada para calcular os níveis de qualidade das características, enquanto o nível de qualidade em uso pode ser calculado usando a equação 3.3.

$$CQL = \frac{\left( \sum_{i=1}^m qm_i \right)}{m} \quad (3.7)$$

onde  $m$  é o número de medidas selecionadas para cada característica.

Para o software inteiro, a equação 3.8 pode ser usada para atingir um valor único do nível de qualidade do sistema no seu conjunto.

$$WQL = \frac{(IQL + EQL + UQL)}{3} \quad (3.8)$$

onde:

$WQL$  é o nível de qualidade para o software inteiro, incluindo os níveis de todos os três estágios;

$IQL$  é o nível interno de qualidade,

$EQL$  é o nível externo de qualidade,

$UQL$  é o nível de qualidade em uso.

Há casos em que as respostas podem assumir valores intermediários com diferentes graus de relevância. Neste caso, deve-se atribuir pesos a cada tipo de resposta. Através das notas obtidas nas questões referentes a cada uma das sub-características pode ser calculado o nível de qualidade de cada característica.

Para o cálculo do nível de qualidade da característica, a equação 3.1 torna-se:

$$CQL = \frac{\sum N_i}{W_i} \quad (3.9)$$

Sendo:

$$N_i = N_q * W_q \quad (3.10)$$

E também:

$$P_i = Wmax * N_q \quad (3.11)$$

Onde:



$CQL$  é o nível de qualidade (ou pontuação) de cada característica,  
 $N_i$  são os valores ponderados das respostas obtidas na  $i$ -ésima questão,  
 $W_i$  são os valores de pesos atribuídos a  $i$ -ésima questão,  
 $N_q$  é o número de questões,  
 $W_q$  é o peso atribuído ao tipo de resposta da questão,  
 $W_{max}$  é o peso máximo do tipo de resposta da questão.

Para o cálculo do nível de qualidade do software aplica-se um grau de relevância para cada característica da qualidade.

Assim, para o cálculo da qualidade das características [169] do software tem-se:

$$QL = \frac{\sum CQL * GRC}{\sum GRC} \quad (3.12)$$

### 3.1.3 Projeto da avaliação

O projeto da avaliação inclui a produção de um plano de avaliação e de uma matriz de avaliação.

1. Produção do Plano de Avaliação (item 9.1 da ISO/IEC 14598): o Plano de avaliação considera os objetivos, os atores, o que avaliar, como avaliar (avaliação formativa para projeto) e somativa (para uso de sistema existente). O plano de avaliação discrimina quais os quesitos devem ser avaliados por abordagens quantitativa e quais devem ser complementados por abordagens qualitativas [139], relacionando tais abordagens com a técnica de coleta de dados para cada tipo de avaliação (projeto e/ou uso). O Plano de Avaliação descreve os métodos de avaliação e o cronograma das ações do avaliador (séries ISO-IEC 14598 [6] partes 3 [160], 4 [158] e 5 [157]).
2. Produção da Matriz de Avaliação: no plano de avaliação deve ser elaborada a Matriz de Avaliação. A Matriz de Avaliação auxilia, em uma escala mais ampla, a seleção dos métodos de coleta de dados relacionados a cada questão direcionada no Plano de Avaliação.

As Tabelas 10 e 11 do Apêndice A apresentam os formulários utilizados para o estabelecimento dos propósitos e dos modelos de qualidade

da avaliação. As Tabelas 12, 13 e 14 no Apêndice A apresentam os formulários utilizados para produção do plano de avaliação e da matriz, respectivamente, do tutorial de Neuroanatomia.

### 3.1.4 Execução da avaliação

Segundo Kitchenham [170] todas as avaliações, com exceção aos experimentos formais dependem do contexto da avaliação, pois as avaliações similares em contextos diferentes podem resultar em conclusões diferentes. A execução da avaliação envolve:

1. Obtenção das medidas (item 10.1 da ISO/IEC 14598): são construídos instrumentos de acordo com os dados a serem coletados. Após a seleção de métricas, com as escalas definidas, o instrumento é construído [171]. Conforme será mostrado na seção 3.2 neste trabalho foram definidas 4 dimensões a serem avaliadas em um SHAE. As dimensões são desdobradas em categorias de análise, aspectos a serem avaliados com a definição de métricas e as escalas. Os instrumentos de avaliação foram construídos de acordo com as normas internacionais para qualidade de software.
2. Comparação com critérios (item 10.2 da ISO/IEC 14598): na etapa de pontuação, o valor medido é comparado com critérios previamente determinados. Foi feita uma análise de dados que consistiu em se estudar de forma sistemática os dados acerca das características de interesse. Os cálculos dos níveis de qualidade de cada dimensão do tutorial avaliado são mostrados na seção 3.3.2 utilizando-se as fórmulas da seção 3.1.2.
3. Julgamento dos resultados (item 10.3 da ISO/IEC 14598): é a etapa final do processo de avaliação do software, onde um conjunto de níveis pontuados são resumidos. O resultado é uma declaração de quanto o PS atende os requisitos de qualidade. Os resultados do julgamento da qualidade do tutorial avaliado são apresentados na seção 3.3.2.

O avaliador é responsável pela conclusão da avaliação e fará o julgamento final, caso isto esteja estabelecido na especificação da avaliação [172]. De acordo Viana [173] o mais comum é que o avaliador entregue o relatório da avaliação, que pode ter algum tipo de conclusão, ao requisitante e este faça o julgamento final com base neste relatório. Um relatório de avaliação deve conter basicamente [174]:

- a) Contextualização da avaliação, da equipe e do avaliando;
- b) Descrição dos assuntos envolvidos na avaliação;
- c) Resultados das análises e;
- d) Recomendações baseadas nas descrições e análises.

Uma síntese retirada do relatório final de avaliação do tutorial de neuroanatomia é apresentada na seção 3.4.

### 3.2 Dimensões da Avaliação

Após desenvolver uma exaustiva pesquisa este trabalho sugere que o modelo avaliativo contenha as dimensões de interesse para os SHAE. Estas dimensões subdividem-se em categorias de análise, aspectos a serem avaliados para cobrir grande parte dos requisitos necessários a avaliação de software educacionais. A seguir são descritas as dimensões avaliadas.

- Dimensão 1: *Características Técnicas Operacionais*: é coberta pela métricas internas e externas da norma ISO/IEC 9126. Nesta dimensão não há avaliação da qualidade em uso. As Tabelas 15, 16, 17, e 18 do Apêndice B apresentam as métricas internas e externas, respectivamente, selecionadas para a dimensão 1.
- Dimensão 2: *Interface*: é coberta pela métricas internas e externas da norma ISO/IEC 9126. O programa avaliado é executado sob condições especificadas explicitamente para uma amostra de usuários, representativa de um grupo. Segundo Kitchenham [170] os usuários devem realizar o teste sem quaisquer sugestões ou ajuda externa [174]. Para obter resultados confiáveis de uma amostra são necessários pelo menos oito usuários, embora informações úteis possam ser obtidas a partir de pequenos grupos [42]. As Tabelas 19, 20, 21, 22 22 e 23 do Apêndice B apresentam as métricas internas e externas selecionadas para a dimensão 2.
- Dimensão 3: *Elementos Comportamentais*: é coberta pela métricas internas, externas e de qualidade em uso da norma ISO/IEC 9126. As Tabelas 24, 25, 26 e 27 do Apêndice B apresentam as métricas externas e de qualidade em uso selecionadas para a dimensão 3.

- Dimensão 4: *Componentes Educacionais*: através da pesquisa da autora com os ambientes educacionais este trabalho propõe a avaliação dos componentes educacionais, como uma quarta dimensão. A pesquisa foi baseada em princípios pedagógicos comumente encontrados na literatura [175], [176], [62], [58] e [177]. As Tabelas 27, 28, 29, 30, 31 e 32 do Apêndice B apresentam as métricas internas, externas e de qualidade em uso selecionadas para a dimensão 4.

Em termos de normalização da qualidade de PS educacionais, os trabalhos de Pawlowski [178] apresentam a ISO/IEC 19796-1 [179] que contém uma lista de critérios de referência para medição da qualidade. As métricas aqui propostas constituem a Dimensão 4 - *Componentes Educacionais* e são descritas a seguir:

1. **Concepção Pedagógica**: as técnicas, métodos e estratégias de ensino foram definidos no SHAE de forma que os objetivos de aprendizagem possam ser atingidos?

- (a) *Projeto pedagógico*: visa avaliar se o SHAE possui um projeto que permita o alcance das metas de aprendizagem. As abordagens teórico-práticas pretendidas, os recursos metodológicos, as atividades (interdisciplinares e complementares), os recursos (tecnológicos, infra-estrutura) e os processos avaliativos (critérios e mecanismos de avaliação do processo de ensino-aprendizagem) estão claramente descritos?

É recomendável a identificação dos seguintes atores no desenvolvimento do projeto pedagógico de um SHAE:

- Desenvolvedores dos SHAE (engenheiros biomédicos, analistas de sistemas, programadores, mantenedores);
- Ministradores dos SHAE (professores, tutores, monitores);
- Destinatários dos SHAE (alunos, profissionais interessados);
- Administradores de sistemas e de redes (técnicos em Informática);
- Especialistas do domínio a ser abordado (profissionais da área de ciências da vida, médicos, enfermeiros, biólogos, etc.);
- Especialistas da área de Educação (educadores, pedagogos, psicólogos, etc.);
- Especialistas em avaliação (de sistemas e educacional).

As métricas internas são:

- *Identificação*: existem elementos fundamentais como: identificação do curso, público-alvo, carga horária, cronograma de atividades, gestores (professores, tutores, administradores, monitores)?
  - *Objetivos*: os objetivos pedagógicos (tutoriais, exercícios/práticas, modelagem/simulação, jogo pedagógico, outros fins) e objetivos educacionais (objeto(s) de aprendizagem) estão bem definidos?
  - *Metodologia*: a metodologia está de acordo com a modalidade do SHAE (tutoriais, exercícios/práticas, modelagem/simulação, jogo pedagógico, etc.)?
- (b) *Definição dos Objetivos Educacionais*: os objetivos educacionais no domínio cognitivo foram definidos no SHAE? A Taxionomia de Bloom [180] parece ser bastante útil na definição dos objetivos educacionais de um SHAE. A Taxionomia de Objetivos Educacionais (TOE), ou simplesmente Taxionomia de Bloom (TB) [180]), descreve a aprendizagem como um fenômeno multifacetado, envolvendo os domínios afetivo, cognitivo e psicomotor. No domínio cognitivo Bloom [180] classifica os objetivos em 6 níveis que, usualmente, são apresentados em uma seqüência que vai do mais simples (conhecimento) ao mais complexo (avaliação); cada nível utiliza as capacidades adquiridas nos níveis anteriores. Embora muitas das críticas feitas à Taxionomia de Bloom sejam consideradas válidas, grande número de educadores entende que seu uso pode ser muito útil para o planejamento e projeto de eventos de aprendizagem. Mais detalhes sobre a Taxionomia de Bloom podem ser obtidos em [181], [59], [61], [182], [183]. As métricas externas são:
- *Nível de conhecimento*: o SHAE apresenta atividades que permitam ao aprendiz reproduzir com exatidão uma informação que lhe tenha sido dada por memorização? Exemplo: após a apresentação de uma figura de uma célula, o SHAE pode solicitar ao aprendiz que identifique as partes celulares.
  - *Nível de compreensão*: o SHAE apresenta atividades que permitam ao aprendiz elaborar (modificar, ampliar, reduzir e representar de outra forma), simplificada, um dado ou informação original? Exemplo: após a leitura de um ar-

tigo o SHAE pode solicitar ao aprendiz que o mesmo faça um resumo das idéias principais, sem necessariamente fazer uma apreciação dos fundamentos teóricos do material.

- *Nível de aplicação:* o SHAE apresenta atividades que permitam ao aprendiz transportar uma informação genérica para uma situação nova e específica? Exemplo: o SHAE pode solicitar ao aluno para resolver um exercício após a explicação do assunto.
  - *Nível de análise:* o SHAE apresenta atividades que permitam ao aprendiz separar uma informação em elementos componentes e estabelecer relações entre eles? O processo de Análise pressupõe a identificação de aspectos centrais de uma proposição, a verificação e a validade dos mesmos, a constatação de possíveis incongruências lógicas. Exemplo: em uma plataforma didática para ensino de sinais biomédicos, após a leitura de um conteúdo sobre ruídos em processos de aquisição de dados, o SHAE poderia solicitar ao aprendiz para destacar as principais causas de erros no processamento de sinais biológicos.
  - *Nível de síntese:* o SHAE apresenta atividades que permitam ao aprendiz reunir os elementos de informação para compor algo novo que, terá, necessariamente, traços individuais distintivos? Exemplo: o SHAE pode solicitar ao aprendiz que monte um circuito, usando determinados tipos de componentes eletrônicos, para executar alguma função.
  - *Nível de avaliação:* o SHAE apresenta atividades que permitam ao aprendiz confrontar dados, informações, teorias, etc., com um critério ou conjunto de critérios, que podem ser internos ao próprio objeto da avaliação, ou externos na avaliação de processos, situações, fatos, etc.? Exemplo: o SHAE pode apresentar uma situação-problema e hipóteses de resolução para que o aprendiz selecione qual é a melhor alternativa.
2. **Conteúdos:** os conteúdos podem ser revisados, acessados, organizados, divididos e apresentados de maneira que estejam claros para os aprendizes? As métricas de qualidade em uso são:
- (a) *Revisão de conteúdos:* o SHAE possibilita o registro e a consulta às ações desenvolvidas, permitindo que o aprendiz reveja o con-

teúdo e retome seu processo de aprendizagem?

- (b) *Organização dos conteúdos*: os conteúdos são organizados em módulos gerenciáveis ou outros tipos de unidades?
  - (c) *Organizadores avançados*: o SHAE fornece organizadores avançados, resumos e outros componentes que promovem uma aprendizagem mais eficiente e mais eficaz?
  - (d) *Busca de conteúdo*: de acordo com o contexto, o SHAE fornece capacidades suficientes de busca de conteúdo?
  - (e) *Divisão dos conteúdos*: os conteúdos são divididos adequadamente em partes de modo que os aprendizes possam processá-los sem demasiada carga cognitiva?
  - (f) *Apresentação de conteúdos*: os conteúdos são apresentados de forma não linear?
3. **Realimentação**: o SHAE oferece realimentação contextualizada e relevante para o problema ou tarefa nos quais o aprendiz esteja desenvolvendo? As métricas de qualidade em uso são:
- (a) *Realimentação contextual*: a realimentação é dada em qualquer momento relacionado ao conteúdo estudado, ao problema que está sendo resolvido ou a tarefa que está sendo finalizada pelos aprendizes?
  - (b) *Realimentação de desempenho*: a realimentação fornece ao aprendiz a informação a respeito de seu nível real de desempenho dentro do SHAE?
  - (c) *Realimentação estendida*: o SHAE fornece aos aprendizes as oportunidades de acessar uma realimentação estendida de instrutores, especialistas, pares ou de outros através de ferramentas de comunicação da Internet?
  - (d) *Auto-avaliação do conhecimento prévio*: o SHAE oferece oportunidades para auto-avaliação dos aprendizes avançados em relação ao seu conhecimento prévio sobre o conteúdo?
  - (e) *Auto-avaliação do conteúdo abordado*: o SHAE oferece oportunidades para auto-avaliação dos aprendizes em relação ao conteúdo abordado?
  - (f) *Direção corretiva*: se apropriadas ao contexto, as avaliações fornecem realimentação suficiente para que os aprendizes tomem direções corretivas?

- (g) *Avaliação complexa*: o SHAE oferece avaliações de ordem mais elevada (por exemplo, análise, síntese e avaliação de conceitos) ao contrário oferecer avaliações de ordem mais baixa (por exemplo, recordação e reconhecimento)?
- (h) *Mecanismos de avaliação do sistema*: o SHAE oferece meios de avaliação para verificar se o mesmo está alinhado aos objetivos e o conteúdo abordado?
4. **Suporte à Aprendizagem**: o SHAE oferece meios para que o aprendiz possa gerir seu processo de ensino-aprendizagem? O SHAE oferece flexibilidade, interatividade, mecanismos de colaboração, de orientação e combinação de mídias, que são relevantes ao conteúdo e objetivos?
- (a) *Flexibilidade*: o SHAE é adequado tanto para usuários inexperientes quanto para usuários experientes?
- *Uso de atalhos* (métrica interna): as tarefas de usuário são eficientes e podem se adaptar ao gosto do usuário em suas ações mais freqüentes se ele utiliza atalhos?
- (b) *Interatividade*: o SHAE oferece interações relacionadas ao conteúdo e tarefas que suportem as diferentes metodologias para os processos de ensino-aprendizagem? A métrica interna é:
- *Seções do programa*: o SHAE oferece seções longas demais de texto para leitura sem interações significativas?
- As métricas de qualidade em uso são:
- *Utilização de tecnologias colaborativas*: o SHAE utiliza as tecnologias atuais de colaboração para motivar os aprendizes no desenvolvimento de tarefas e resolução de problemas em conteúdos específicos?
  - *Acesso aos pares*: de acordo com o contexto, o SHAE fornece acesso aos pares, aos especialistas, aos instrutores e a outros recursos humanos?
  - *Aprendizagem experimental*: o SHAE fornece um nível de aprendizagem experimental coerente com o conteúdo e as capacidades do público-alvo?
- (c) *Orientação*: o SHAE auxilia os aprendizes a monitorarem seu progresso na aprendizagem? As métricas de qualidade em uso são:



- *Orientação no espaço navegacional*: os aprendizes sabem o que estão fazendo e o que estão fazendo dentro das várias partes do SHAE?
  - *Orientação adicional*: os aprendizes percebem opções para a orientação adicional, instrução ou outros formulários de auxílio quando é necessário?
  - *Orientação local*: os aprendizes possuem uma compreensão adequada da atividade que completou e do que permanece para ser feito dentro de qualquer unidade específica (por exemplo, um tópico do conteúdo).
- (d) *Integração de mídias*: o SHAE combina diferentes meios para produzir um todo eficaz? Os vários meios (texto, gráfico, áudio, vídeo, etc.) trabalham em conjunto para dar forma a um SHAE coesivo ou o SHAE é apenas uma mistura de segmentos gratuitos desses meios? As mídias são necessárias à função do SHAE ou o SHAE funcionaria igualmente também sem elas? O SHAE inclui e integra diferentes mídias com propósitos pedagógicos e de motivação? As métricas de qualidade em uso são:
- *Utilidade*: as mídias incluídas no SHAE são supérfluas ou realmente fazem uma forte conexão aos objetivos educacionais e ao projeto do programa?
  - *Apoio a princípios pedagógicos*: as mídias do SHAE são selecionadas para combinar as diretrizes do projeto pedagógico ou apoiar os princípios instrutivos específicos?
  - *Combinação de formas*: se apropriadas ao contexto, as várias formas de mídias estão incluídas no SHAE para a mistura de recursos e/ou o enriquecimento do ambiente?
  - *Coerência de mídias*: as mídias estão coerentes com as especificações técnicas e estruturais do SHAE?
- (e) *Recursos*: o SHAE oferece acesso a todos os recursos necessários para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem? As métricas de qualidade em uso são:
- *Acesso a recursos*: o SHAE fornece acesso a uma faixa dos recursos (por exemplo, exemplos ou arquivos de dados reais) apropriados ao contexto de aprendizagem?
  - *Atualização de ligações a recursos*: o SHAE inclui acesso a recursos externos na Internet ou na Intranet com ligações atualizadas?

- *Aproximação do mundo real*: os recursos são fornecidos de um modo que replica o mais próximo quanto possível sua disponibilidade e uso no mundo real?

5. **Aspectos Psicológicos**: o SHAE considera a aprendizagem sob os aspectos psicológicos? As métricas de qualidade em uso são:

- (a) *Ritmo de aprendizagem*: o SHAE permite que o estudante aprenda em seu ritmo?
- (b) *Motivação*: a motivação para uso do SHAE é adequada?
- (c) *Redução da ansiedade*: o SHAE evita a ansiedade de um estudante quando do seu uso?
- (d) *Fadiga*: o SHAE provoca fadiga e a sobrecarga cognitiva ao estudante?
- (e) *Frustrações*: o SHAE provoca frustrações ou aversões ao seu uso?
- (f) *Atenção*: o SHAE conduz os processos de atenção, retenção dos alunos?

Deve ser observado que os aspectos psicológicos e seus desdobramentos, na maioria dos casos são baseados em opiniões. A subjetividade é grande. Portanto, inúmeras observações precisam ser executadas em uma avaliação.

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Avaliação da Satisfação do Usuário

A Figura 31 apresenta uma tela do tutorial de Neuroanatomia sob avaliação neste trabalho, mostrado anteriormente na seção 2.7 do Capítulo 2. O tutorial desenvolvido por Fonseca [133], sob a orientação desta autora, é disponibilizado no endereço [www.mafa.eng.br/lvn](http://www.mafa.eng.br/lvn).

Na primeira fase da avaliação da satisfação do usuário, foram contactados 121 alunos que utilizaram o tutorial, destes 41 alunos participaram da pesquisa. Para a coleta de dados foi utilizada a ferramenta aberta “LimeSurvey” (<http://www.limesurvey.org/>) na produção de um questionário, adaptado do “Questionnaire for User Interaction Satisfaction” (QUIS)<sup>1</sup> por

<sup>1</sup>O QUIS foi utilizado e validado em língua portuguesa nos trabalhos de Oliveira [184], Pereira Jr. e Capeto [185], Santos [186], Santos [187].



Figura 31: Tela mapa do site do tutorial avaliado

(<http://lap.umd.edu/quis/>) da Universidade de Maryland conforme mostrado na Figura 32.

QUIS, desenvolvido apresenta quatro factores: aprendizagem, terminologia e fluxo da informação, saída do sistema, características do sistema [185]. A versão utilizada do QUIS é na versão 7.0.

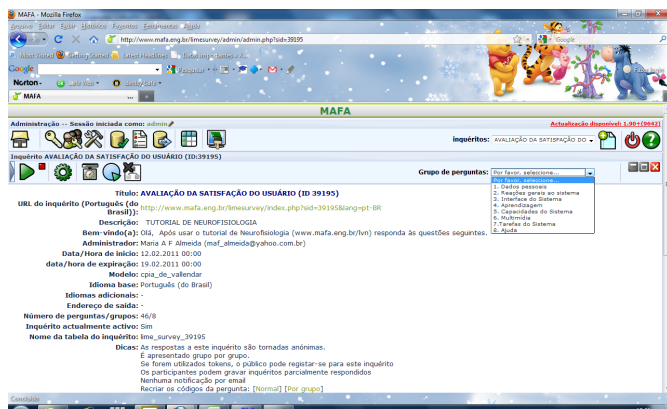


Figura 32: Ferramenta para coleta de dados

As perguntas foram compostas utilizando-se uma escala numérica de diferencial semântico (de notas 1 a 9) com extremos etiquetados. Foram enviadas mensagens aos usuários, que foram cadastrados e responderam voluntariamente questões divididas em oito grupos sobre: reações gerais, interface, capacidades, tarefas, multimídia e ajuda do sistema.

A versão on-line do questionário foi disponibilizado em:

*<http://www.mafa.eng.br/limesurvey/index.php?sid=39195&lang=pt-BR>*.

Na pesquisa desenvolvida, 76,00 % dos respondentes eram do sexo feminino com idade média entre 23,16 anos. Dentre estes alunos 68 % utilizam o computador acima de 10 horas semanais.

As Tabelas 33, 34, 35 e 36 do Apêndice C apresentam os resultados da avaliação de satisfação do usuário do sistema. Os respondentes consideraram o sistema como regular a bom. A interação foi considerada como frustrante.

A interface foi avaliada como regular para uma parcela significativa dos respondentes em termos de caracteres e layout. A aprendizagem para operar o sistema foi classificada como difícil. O tempo para operar o sistema foi classificado como regular. Dois pontos negativos foram evidenciados: a exploração das características por tentativa e erro desapontou os respondentes e a descoberta de novas características foram consideradas difíceis. Em relação à velocidade e o tempo, os respondentes consideraram o sistema como regular a bom, com um aceitável atraso entre as operações. Falhas foram detectadas, mas não foram frequentes. A correção de erros foi considerada difícil e o sistema não apresentou mensagens de erros. Sobre a multimídia o sistema foi considerado como bom a regular. A ajuda do sistema foi a característica mais criticada. Mais da metade dos respondentes classificam a emissão e audição de som de regular a bom. As tarefas do sistema foram avaliadas como regular a bom por mais de 50 % dos respondentes. As respostas estão equilibradas considerando que as tarefas precisam ser melhoradas para conduzir a um resultado previsível.

Observou-se um grande problema na quantidade de ajuda oferecida, no acesso às mensagens e no encontro de informações específicas.

Os resultados indicam a necessidade de melhorar não somente a Usabilidade e a Apreensibilidade, mas também a Operabilidade do sistema. Observou-se que o sistema precisa ser melhorado nas características de Analisabilidade, Manutenibilidade incluindo-se funções diagnósticas e funções de recuperação de erros.

De posse dos resultados apresentados uma pergunta pode ser feita: este tutorial está aprovado?

Em termos gerais os resultados apresentados nesta sub-seção levam a crer que o sistema é avaliado como bom a regular no quesito de satisfação do usuário. Entretanto, a leitura sub-seção 3.3.2 mostra que à luz da metodologia aqui proposta o tutorial está reprovado.

### 3.3.2 Avaliação com modelo de qualidade

Os resultados apresentados na sub-seção 3.3.1 mostram que o sistema atende a satisfação do usuário. Entretanto, a autora considera que este tipo de avaliação, comumente aplicada a muitos sistemas, não são adequados aos SHAE. É necessário introduzir na avaliação os conceitos de qualidade interna, externa e em uso, bem como os aspectos de adaptatividade, aspectos pedagógicos e aspectos psicológicos de um programa dedicado ao ensino.

A avaliação considerando os modelos de qualidade foi executada sob três perspectivas: qualidade interna, qualidade externa e qualidade em uso. Na perspectiva de qualidade interna, o sistema foi avaliado pela autora como um protótipo em construção considerando as características fundamentais no código e no protótipo [188]. Para a medição da qualidade externa, a autora rodou inúmeras vezes o sistema anotando as variáveis fundamentais das métricas selecionadas, o que é equivalente a revisão por especialista. Na fase da qualidade em uso, a autora contou com a colaboração de 18 voluntários, alunos da área de saúde, que participaram da avaliação de satisfação do usuário descrita na sub-seção 3.3.1. Os alunos foram levados ao laboratório de informática e seus comportamentos observados anotando-se em uma planilha as medidas.

Para a medição da qualidade em uso foi criado um instrumento (disponível em <http://www.mafa.eng.br/limesurvey/index.php?sid=99472&lang=pt>) conforme mostra a Figura 33 usando a ferramenta Limesurvey.

As Tabelas 37, 38, 39 e 40 no Apêndice D apresentam os resultados obtidos na avaliação do Suporte à Aprendizagem oferecida pelo tutorial. Na opinião dos participantes o tutorial não possibilita o registro e a consulta às ações desenvolvidas, não permitindo que o conteúdo seja revisado e que o aprendiz possa retornar ao seu processo de aprendizagem.

A organização dos conteúdos foi considerada como regular a boa. Os resultados mostram que o tutorial não fornece adequadamente organizadores avançados, resumos e outros componentes que promovam uma aprendizagem mais eficiente e mais eficaz. A busca de conteúdo foi julgada fraca. A divisão de conteúdos foi julgada como boa a regular. A apresentação dos conteúdos foi julgada como não linear. Os respondentes julgaram que o sistema não for-

neces a realimentação a respeito de seu nível real de desempenho. O sistema não oferece realimentação estendida, para que os usuários acessem instrutores, especialistas, pares através de ferramentas de comunicação. O sistema não oferece uma auto-avaliação do conhecimento prévio. O tutorial não oferece oportunidades para auto-avaliação dos conteúdos abordados. A direção corretiva foi considerada muito fraca a fraca. O tutorial não oferece avaliações de análise, síntese, avaliação de conceitos e avaliação complexa. Quanto aos meios de avaliação do sistema, os respondentes julgaram como muito fracos os mecanismos de avaliação, julgaram como regular o sistema de práticas. No julgamento da interatividade promovida pelo tutorial as opiniões dos respondentes ficaram divididas entre fraco e regular. O nível de aprendizagem experimental foi classificado como regular a bom. Na orientação oferecida pelo tutorial, os respondentes julgaram o auxílio no monitoramento do seu progresso na aprendizagem como regular a fraco. As mesmas respostas foram obtidas para a orientação no espaço navegacional. Na orientação adicional, os respondentes julgaram o tutorial como fraco a regular. A orientação local foi julgada como regular a fraca. As opiniões se dividem igualmente entre consideração da orientação local como muito boa e muito fraca. Os respondentes consideraram a integração das mídias como regular. A utilidade das mídias foi julgada como regular a fraca. Em relação aos princípios pedagógicos das

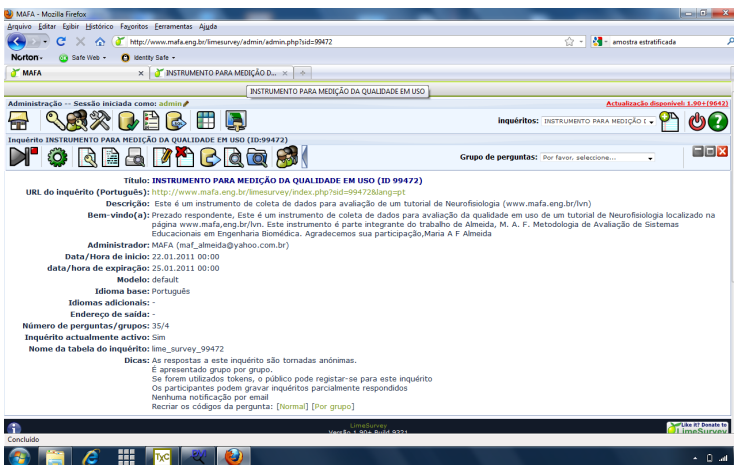


Figura 33: Ferramenta para coleta de dados de qualidade em uso

médias, o tutorial foi julgado como bom a regular. Os respondentes julgaram que a combinação das formas das mídias era regular a boa. A coerência das mídias foi julgada regular.

A Tabela 40 no Apêndice D apresenta os resultados da avaliação da qualidade em uso relativas aos recursos e aspectos psicológicos do tutorial de Neuroanatomia. Os respondentes julgaram como regular o oferecimento de acesso a todos recursos necessários para auxílio ao processo de ensino-aprendizagem. Na atualização de ligações a recursos, o sistema foi considerado como muito fraco. Na aproximação com o mundo real, o sistema foi julgado como regular a fraco. Na pesquisa realizada os respondentes julgaram como regular a capacidade do tutorial em permitir que o estudante aprenda em seu ritmo. A motivação foi considerada como regular. Em relação à capacidade de evitar a ansiedade dos estudantes quando do seu uso, o tutorial foi considerado como bom a muito bom. Os respondentes consideraram que o tutorial provoca pouca a nenhuma fadiga. Em relação à provocação de frustrações as opiniões se dividem. Os respondentes julgaram como regular a condução aos processos de atenção feitos pelo tutorial. Os respondentes consideraram como muito boa a capacidade de retenção dos alunos.

A Tabela 2 apresenta os cálculos (usando-se as equações 3.1 e 3.2) do nível de qualidade com as métricas internas e externas selecionadas para a dimensão 1. Aplicando a equação 3.8 tem-se:

$$WQL = \frac{0,3317 + 0,3682}{2} = 0,3500$$

O nível de qualidade para a dimensão 1 foi estimado em 35,00 %.

A Tabela 3 apresenta os cálculos (usando-se as equações 3.1 e 3.2) do nível de qualidade com as métricas internas e externas selecionadas para a dimensão 2. Aplicando a equação 3.8 tem-se:

$$WQL = \frac{0,0904 + 0,3217}{2} = 0,2060$$

O nível de qualidade para a dimensão 2 é estimado em 20,60 %.

Tabela 2: Nível de qualidade com as métricas internas e externas para a dimensão 1

Características	Sub-características	Valor	n	SQL	m	CQL
<i>Métricas internas</i>						
Funcionalidade	Adequação	0,89				
	Segurança	0				
			2	0,4450		
Confiabilidade	Tolerância a falhas	0,3500		-		
			1	0,3500		
Manutenibilidade	Analisabilidade	0,4000		-		
	Modificabilidade	0		-		
			2	0,2000		
		$\Sigma$		0,9950		
					3	
						<b>0,3317</b>
<i>Métricas externas</i>						
Funcionalidade	Adequação	0				
	Acurácia	-				
	Interoperabilidade	-				
	Segurança	0,3800				
			2	0,1900		
Confiabilidade	Maturidade	0,8500				
	Tolerância a falhas	0,8200				
	Recuperabilidade	0,5800				
			3	0,7500		
Manutenibilidade	Analisabilidade	0				
	Modificabilidade	-				
			1	0		
Portabilidade	Adaptabilidade	0,9900				
	Instalabilidade	0,6000				
	Co-existência	0,0080				
			3	0,5327		
		$\Sigma$		1,4700		
					4	
						<b>0,3682</b>

A Tabela 4 apresenta os cálculos (usando-se as equações 3.1 e 3.2) do nível de qualidade com as métricas externas e de qualidade em uso selecionadas para a dimensão 3. Aplicando a equação 3.8 tem-se:

$$WQL = \frac{0,6136 + 0,8112}{2} = 0,7124$$

O nível de qualidade para a dimensão 3 é estimado em 71,24 %.

Na medição da qualidade em uso da dimensão 4 não é possível aplicar diretamente as equações 3.1 e 3.2. Foi necessário transformar os dados



Tabela 3: Nível de qualidade com as métricas internas e externas para a dimensão 2

Características	Sub-características	Valor	n	SQL	m	CQL
<i>Métricas internas</i>						
Usabilidade	Inteligibilidade	0,2300	3	0.0904		
	Apreensibilidade	0,0230				
	Operabilidade	0,0182				
$\Sigma$				0.0904		
					1	
						<b>0.0904</b>
<i>Métricas externas</i>						
Usabilidade	Inteligibilidade	0,9200	4	0.6433		
	Apreensibilidade	0,5083				
	Operabilidade	0,4750				
	Atratividade	0,6700				
Adaptatividade	Interatividade	0				
	Apresentação	0				
	Navegação	0				
	Mecanismos de adaptação	0				
$\Sigma$			4	0		
				0.6433		
					2	
						<b>0.3217</b>

coletados do estudo (Apêndice C) feito com usuários para obter o nível de qualidade ponderado obtido com o uso das equações 3.9, 3.10 e 3.11.

A Tabela 5 apresenta o cálculo do nível de qualidade com as métricas internas e externas para a dimensão 4. A Tabela 7 mostra o cálculo do nível de qualidade com as métricas de qualidade em uso da dimensão 4 usando as equações 3.1 e 3.2. Aplicando a equação 3.8 tem-se:

$$WQL = \frac{0,0555 + 0,0967 + 0,0866}{3} = 0,0796$$

O nível de qualidade para a dimensão 4 é estimado em 7,96 %.

Em uma primeira avaliação o tutorial foi avaliado em relação a satisfação do usuário. A satisfação do usuário é um dos procedimentos mais comuns na avaliação de sistemas, principalmente no que se relaciona a Usabilidade. Este trabalho considera a importância da avaliação da satisfação do usuário, mas parte do princípio que a satisfação do usuário não deve ser avaliada isoladamente. A satisfação do usuário deve ser vista como uma métrica

Tabela 4: Nível de qualidade com as métricas externas e de qualidade em uso para a dimensão 3

Características	Sub-características	Valor	n	SQL	m	CQL
<i>Métricas externas</i>						
Eficiência	Comportamento em relação ao tempo	0,8750				
	Comportamento em relação aos recursos	0,3523				
$\Sigma$			2	0,6136		
				0,6136		
					1	
						<b>0,6136</b>
<i>Métricas de qualidade em uso</i>						
Efetividade	Efetividade	0,9100				
	Compleitude da tarefa	0,9100				
	Frequência de erros	0,9000				
			3	0,9067		
Produtividade	Tempo da tarefa	0,0600				
	Eficiência da tarefa	0,9100				
	Produtividade econômica	-				
	Proporção Produtiva	0,9000				
	Eficiência relativa do usuário	0,9500				
			4	0,7050		
Segurança	Saúde e Segurança	0,9000				
	Segurança das pessoas afetadas pelo uso do sistema	0,9000				
	Danos econômicos	-				
	Danos no software	-				
			2	0,9000		
Satisfação do usuário	Escala de Satisfação	0,6540				
	Pesquisa de Satisfação	0,8122				
	Opção pelo produto	-				
$\Sigma$			2	0,7331		
				3,2448		
					4	
						<b>0,8112</b>

de qualidade em uso, conforme proposto pela ISO/IEC 9126-4. Na pesquisa, a avaliação foi refinada.

Os resultados obtidos na avaliação das quatro dimensões são apresentados na Tabela 6. Comparando-se com a Tabela 1 de níveis de classificação da ISO/IEC 9126, observa-se que o tutorial foi rejeitado nos aspectos de características técnicas-operacionais, interface e componentes educacionais e aceito com restrições em relação aos elementos comportamentais.

Esta metodologia de avaliação, mais refinada, além de indicar em quais partes o tutorial necessita modificações, apresentou os níveis de qualidade de cada dimensão.



### 3.4 Discussão

De acordo com Weiss [155] a avaliação é o julgamento sistemático dos resultados da operação de um programa ou política, comparando-se um conjunto explícito ou implícito de padrões como meios de contribuir para a melhoria de um programa. Observando-se os resultados apresentados na Tabela 6 sobre os níveis de qualidade analisados em cada dimensão é possível comparar com os resultados da pesquisa de satisfação do usuário com o questionário QUIS. A dimensionalidade é capaz de prover uma análise mais apurada, que reflete a realidade sem a necessidade de inúmeros cálculos estatísticos. É possível ver o sistema como um todo e o que precisa ser melhorado.

Segundo Bland [50] é necessário à avaliação dos SHAE, não somente em termos de acurácia, robustez, usabilidade do sistema, mas também a avaliação de sua efetividade educacional. É necessário verificar a sua adequabilidade pedagógica. A questão apontada por Bland [50] é: “*sistema realmente instrui o aprendiz ou meramente o entretém?*” Em relação aos Componentes Educacionais o LVN teve a mais baixa avaliação, o que é perfeitamente coerente porque as métricas definidas são rigorosas com estes elementos.

A interface não tem somente uma importância para a entrada e saída da informação, ela também complementa dados importantes sobre o processo da aprendizagem. Quando a interface é adaptativa, a representação do conhecimento deve ser cuidadosamente estudada para que permita o sucesso das estratégias educacionais do sistema. A dimensão da Interface do LVN foi avaliada com uma alta rejeição. Em uma análise qualitativa é possível dizer que um sistema dedicado ao ensino deve ter uma interface bem superior à apresentada pelo tutorial. Uma explicação é a falta de adaptatividade da interface. Esta metodologia proposta leva em consideração a interface adaptativa,

Tabela 6: Níveis de qualidade das dimensões

<b>Dimensões</b>	<b>Níveis de qualidade</b>	<b>Classificação</b>	<b>Julgamento</b>
1. Características técnicas operacionais	35,00 %	Insatisfatório	Rejeitado
2. Interface	20,60 %	Insatisfatório	Rejeitado
3. Elementos comportamentais	71,24 %	Satisfatório	Aceito com restrições
4. Componentes educacionais	7,96 %	Insatisfatório	Rejeitado

Tabela 7: Nível de qualidade com as métricas de qualidade em uso para a dimensão 4

Características	Sub-características	Métricas	Valor	n	SQL	m	CQL
Conteúdos	Revisão de conteúdos		0,0769	6	0,0481		
	Organização dos conteúdos		0,0308				
	Organizadores avançados		0,0077				
	Busca de conteúdos		0,0115				
	Divisão dos conteúdos		0,0231				
	Apresentação de conteúdos		0,1385				
Realimentação	Realimentação contextual		0,0199	8	0,0262		
	Realimentação de desempenho		0,0277				
	Realimentação estendida		0,0185				
	Auto-avaliação do conhecimento prévio		0,0154				
	Auto-avaliação do abordado		0,0738				
	Direção corretiva		0,0092				
	Avaliação complexa		0,0346				
	Mecanismos de avaliação do sistema		0,0108				
$\Sigma$							
				0,0743			
						2	0,0372
Suporte à Aprendizagem	Interatividade	Acesso aos pares	0,0308	2	0,0616		
		Aprendizagem experimental	0,0923				
	Orientação	Orientação no espaço navegacional	0,0254	3	0,0256		
		Orientação adicional	0,0254				
		Orientação local	0,0261				
	Integração de mídias	Utilidade	0,0385	4	0,0961		
		Apoio a princípios pedagógicos	0,0192				
		Combinação de formas	0,0192				
		Coerência de mídias	0,0192				
	Recursos	Acesso a recursos	0,0254	3	0,0256		
		Atualização de ligações a recursos	0,0254				
		Aproximação do mundo real	0,0261				
	Aspectos Psicológicos	Ritmo de aprendizagem	0,0308	6	0,0379	0,2468	
		Motivação	0,0369				
		Redução da ansiedade	0,0369				
Fadiga		0,0369					
Frustrações		0,0492					
Atenção		0,0369					
$\Sigma$							
				0,2468			
$\Sigma$ CQL						5	0,0494
							<b>0,0866</b>

que no teste executado o tutorial não possui. Entretanto, se não forem selecionadas as métricas da adaptatividade da interface, o cálculo mudará conforme mostram os cálculos a seguir, utilizando-se os resultados das Tabelas 20, 21, 22 e 23 que apresentam os resultados obtidos com as métricas externas selecionadas para a dimensão 2.

Desprezando-se as métricas de adaptatividade (interatividade, apresentação, navegação e mecanismos de adaptação) conforme mostrado na Tabela 3, o cálculo do nível de qualidade pode ser feito utilizando-se as equações 3.1 e 3.2.

$$SQL_{Usabilidade} = \frac{(SQL_{intelig} + SQL_{apreens} + SQL_{operab} + SQL_{atrat})}{n = 4}$$

$$SQL_{Usabilidade} = \frac{(0,9200 + 0,5083 + 0,4750 + 0,6700)}{n = 4} = 0,6433$$

$$CQL = SQL_{Usabilidade} = \frac{0,6433}{m = 1} = 0,6433$$

$$QL = \frac{IQL + EQL}{2} = \frac{0,0904 + 0,6433}{2} = 0,3669$$

O nível de qualidade para a dimensão 2 será então estimado em 36,69 %, considerando-se a ausência da medida da adaptatividade. A metodologia pode então ser utilizada de forma diferenciada para sistemas adaptativos e não adaptativos. Caberá ao avaliador selecionar as métricas que realmente possam avaliar o sistema. Se o avaliador está interessado em avaliar a adaptatividade deve considerar a agregação de tais métricas, caso contrário pode desconsiderá-la.

Comparando-se o nível global de qualidade, conforme mostrado na Tabela 8, sobre os níveis de classificação para julgamento de um programa proposto pela ISO/IEC 9126 (apresentada na Tabela 1) observa-se que o tutorial foi classificado como *Insatisfatório* com nível de classificação de 24,85% sendo julgado como *Rejeitado*. Este resultado é coerente com a análise dimensional dos níveis de qualidade apresentados na Tabela 6. Afinal, não basta ao tutorial ser aceito com restrições na dimensão de *Elementos Comportamentais*, se nas dimensões de *Características técnicas operacionais*, *Interface* e *Componentes Educacionais* o tutorial foi *Rejeitado*.

Tabela 8: Níveis de qualidade das dimensões 1,2, 3 e 4

Dimensões	Níveis de qualidade NQ	$\frac{NQ \times 100}{\sum NQ}$	Grau de relevância	Nível Ponderado NQ * PC
1. Características técnicas operacionais	0,3500	25,96 %	0,25	6,49 %
2. Interface	0,2060	15,28 %	0,25	3,82 %
3. Elementos comportamentais	0,7124	52,24 %	0,25	13,06 %
4. Componentes educacionais	0,0796	5,91 %	0,25	1,47 %
$\sum NQ$	1,348	100 %	1	
			Nível Global:	24,85 %

Observando-se os resultados iniciais oferecidos pelo Questionário QUIS apresentados na sub-seção 3.3.1 o sistema apresentou problemas graves em relação aos aspectos de interface, multimídia, ajuda e capacidades que foram detectadas pela pesquisa com os usuários. O tutorial também apresentou problemas médios nas reações gerais e aprendizagem e leves nas tarefas. Ainda, é possível dizer que em uma análise mais qualitativa o sistema só recebeu uma avaliação satisfatória nos *Elementos Comportamentais* porque tem uma baixa complexidade funcional. É importante notar que os resultados variam com o grau de relevância. O grau de relevância considerado na avaliação das quatro dimensões é igual.

Outra observação que pode ser feita é que caso o avaliador não queira julgar o nível de qualidade oferecido pelos aspectos educacionais pode desconsiderar tal medição e realizar a novamente a normalização do sistema conforme mostrado na Tabela 9. Neste caso, os pesos atribuídos consideram que as três características têm a mesma relevância para a avaliação das dimensões 1, 2 e 3. Observa-se que a contribuição interna será a mesma para cada dimensão, o que mudará é a análise global. No caso apresentado na Tabela 9 a pontuação aumenta para 33,00 % , mas o programa ainda ficará na condição de rejeitado, mesmo não sendo considerados os Componentes educacionais.

A validade dos resultados é considerada, pois a qualidade do tutorial foi calculada pela medição dos atributos internos e dos atributos de qualidade em uso. Entretanto, uma limitação verificada é a necessidade de incorporação de aspectos e protocolos para avaliações qualitativas. Observou-se que os recursos precisam ser alocados entre os diferentes tipos de medições dependendo dos objetivos do sistema, da natureza do SHAE a ser avaliado. Uma limitação do trabalho é que não foi prático gerir a medição da qualidade em

Tabela 9: Níveis de qualidade das dimensões 1, 2 e 3

<b>Dimensões</b>	<b>Níveis de qualidade NQ</b>	$\frac{NQ \times 100}{\sum NQ}$	<b>Grau de relevância</b>	<b>Nível Ponderado NQ * PC</b>
1. Características técnicas operacionais	0,3500	27,59 %	0,33	9,11 %
2. Interface	0,2060	16,25 %	0,33	5,36 %
3. Elementos comportamentais	0,7124	56,16 %	0,33	18,53 %
$\sum NQ$	1,2684	100 %	1	
			Nível Global:	33,00 %

uso para todos os  $n$  possíveis cenários de tarefas do usuário do tutorial de Neuroanatomia avaliado.

É importante observar que uma limitação do trabalho é que o LVN não foi implementado como um sistema adaptativo. Neste trabalho, foi apresentado o projeto formal da sua navegação adaptativa. A avaliação do LVN utilizando as métricas de adaptatividade serviu para apresentar a flexibilidade do método e uma diretriz do processo avaliativo seguindo normas internacionais.



## 4 CONCLUSÕES

*“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original.”*

Albert Einstein

Este trabalho teve por objetivo demonstrar que é verdadeira a hipótese de que uma metodologia de avaliação multidimensional de SHAE composta de especificação formal, uso de métricas de normas internacionais e de medidas de aspectos pedagógicos permitem a estimação da qualidade de um software educacional. A pesquisa pretendeu preencher uma lacuna sobre estudos nesta área ainda incipientes no Brasil.

Os SHAE para aplicações em EB exigem projetos e avaliações que envolvem interessados com formações diversas. Assim, os requisitos devem ser atendidos de forma que: (a) os objetivos didático-pedagógicos sejam plenamente atendidos para fins educacionais; (b) seus aspectos computacionais devem ter funcionalidades que atendam seu objetivo construtivo; (c) seu comportamento deve prover experimentações e (d) seus objetos de conteúdo devem corresponder à realidade explorada pelas ciências da vida.

Os SHAE são multi variáveis e dinâmicos porque envolvem interatividade, adaptatividade, simulações e práticas. Na EB, em geral as aplicações se relacionam a modelagem de pacientes, manuseio de equipamentos médicos virtuais e experimentações remotas desenvolvidas sobre uma interface adaptativa. A concepção e avaliação dos SHAE são tarefas complexas e sofisticadas.

Os SHAE têm sido empiricamente avaliados e os resultados da literatura têm mostrado um aumento na velocidade de aprendizagem e auxílio aos estudantes em um melhor entendimento da matéria através da instrução individualizada. A literatura é vasta no assunto sobre avaliação de SHAE, mas de forma isolada, sem estabelecimento de padrões e critérios. Não existem metodologias bem estabelecidas para avaliação destes sistemas. A introdução de conceitos de qualidade dos SHAE contribui para seu projeto e desenvolvimento.

No primeiro estágio do ciclo de desenvolvimento de um software a preocupação é em descrever e entender os requisitos e obter uma descrição correta para o problema e não como este será resolvido em detalhes de implementação. Isto pode ser feito através de modelos abstratos do sistema que

poderão ser utilizados para a base de tais entendimentos.

Uma vez que é assegurada a captura correta dos comportamentos requeridos para o sistema e que ambos o entendimento e o modelo abstrato estão corretos será possível o prosseguimento do processo de construção do sistema. Muitos refinamentos parciais devem ser feitos da especificação até a implementação. Inicialmente qualquer sistema deve ser visto como uma caixa-preta e o interesse deve ser na identificação das entradas e saídas do mesmo. Nesta fase, não há o interesse nos detalhes da implementação, nem na descrição de como as entradas serão tratadas e tampouco em se definir como o sistema gerará a saída.

O processo de desenvolvimento de um software inicia-se com a exposição informal do sistema a ser desenvolvido, com seus requisitos. A partir desta primeira verbalização são derivadas por transformação duas decomposições: a primeira que é a especificação formal<sup>1</sup> do sistema e a segunda que é o programa que o implementa. O trabalho limitou-se à primeira decomposição.

Ao longo dos anos muitas linguagens abstratas têm sido utilizadas para especificar e projetar sistemas de software auxiliando na demonstração de que o software está correto. Algumas notações são baseadas em teoria dos conjuntos, lógica dos predicados, álgebras. Outras notações são baseadas em notações pictográficas, como por exemplo a TC conforme mostrado no Capítulo 2.

Diversas ferramentas são utilizadas para modelagem de sistemas hipermídia adaptativos, variando-se o grau de formalidade e rigor na especificação de conteúdos. Entre as ferramentas de modelagem incluem-se as de especificação de software, os métodos formais. Estes últimos são usados independentemente da estrutura e da navegação, pois a forma final da interface depende dos navegadores e dos dispositivos de visualização. Para apoiar a representação das características da aplicação durante o desenvolvimento de seu ciclo de vida podem ser utilizadas linguagens com diferentes níveis de formalidade e abstração.

Esta tese apresentou os conceitos da TC para utilização na descrição estrutural e nos métodos formais de estruturação e avaliação de um SHAE. Para apoiar a representação das características da aplicação durante o desenvolvimento de seu ciclo de vida foi utilizada a TC com diferentes níveis de formalidade e abstração. Foram descritos os formalismos categóricos de SHAE.

---

<sup>1</sup>Uma especificação é formal quando a linguagem utilizada possui a sintaxe e a semântica rigorosamente definidas.

Outra colaboração deste trabalho se delinea na possibilidade de fornecer uma base teórica sobre aplicação da TC na modelagem de sistemas que envolvem equipes multidisciplinares. A especificação formal foi utilizada para abstração de um modelo avaliativo de um tutorial de Neuroanatomia.

O nível de abstração e generalidade oferecido pela TC permitiu sua utilização na modelagem estrutural descrevendo-se os tipos de objetos que constituem a base da informação e suas relações semânticas, sem o compromisso com qualquer mecanismo específico de armazenamento, recuperação e manutenção de instâncias reais de tais tipos de objetos.

Os métodos formais como a TC complementam outras abordagens no desenvolvimento de sistemas. O uso destes métodos não garante a priori a correção. Todavia, podem aumentar o entendimento dos sistemas.

A ausência da formalidade dificulta o relacionamento da especificação com os programas (implementação), uma vez que para ser feito este relacionamento os elementos das linguagens de especificação e implementação têm que ser bem conhecidos. Entretanto, nada garante que por ser formal uma determinada especificação corresponda aos requisitos do usuário. As especificações formais devem ser vistas como a teoria da qual a especificação informal dos requisitos e a implementação são modelos.

A interface não tem somente uma importância para a entrada e saída da informação, ela também complementa dados importantes sobre o processo da aprendizagem. Quando a interface é adaptativa, a representação do conhecimento deve ser cuidadosamente estudada para que permita o sucesso das estratégias educacionais do sistema.

Na modelagem da navegação foram expressos os caminhos de acesso aos objetos da base de informação sem a preocupação com qualquer técnica para implementação. A modelagem da navegação adaptativa auxiliou no entendimento da representação dos elementos visuais da interface do Tutorial de Neuroanatomia abstraindo-se de uma linguagem em particular e do dispositivo utilizado na entrega.

A decomposição do sistema conduziu à quebra de grandes especificações em componentes que foram refinados independentemente, através da composição de combinações satisfazendo a uma especificação maior, ou seja o sistema foi visto como um todo.

Além da proposta metodológica de avaliação de SHAE considerar a especificação formal da arquitetura, navegação e do modelo avaliativo, a metodologia referencia as normas de padronização internacional para modelos de qualidade em processos, desenvolvimento e uso de software.

O trabalho apresentou a avaliação baseada em métricas das normas da International Standard Organization (ISO) e a International Electrotechnical Commission (IEC). As proposições de medidas dos aspectos educacionais e psicológicos foram associadas às métricas de qualidade da norma ISO/IEC 9126 [148] e dos processo avaliativo proposto pela norma ISO/IEC 14598 [6].

As séries da norma ISO/IEC 9126 [148], [162], [163] e [164] apresentam orientações para desenvolvimento de métricas para medição, pontuação e julgamento de programas.

As métricas externas se referem às medições indiretas de um sistema a partir do seu comportamento computacional ou do seu efeito no ambiente quando da execução de seus programas. Estas métricas foram usadas para: (a) avaliar o comportamento do software quando usado em situações específicas; (b) para prever a qualidade real no uso e (c) para avaliar e indicar se o produto satisfaz as verdadeiras necessidades durante a operação real pelo usuário.

As métricas internas (relativas à arquitetura do produto) que referem-se a medições de um sistema a partir de suas próprias características internas, sem a necessidade de execução dos programas, como por exemplo, linhas de código, número de erros encontrados em revisões. As métricas internas forneceram a possibilidade de medir a qualidade dos artefatos intermediários e de prever a qualidade do produto final, o que permite a identificação de problemas de qualidade e se inicie a ação corretiva ainda no ciclo de vida do desenvolvimento.

As métricas de qualidade em uso definem a validação da qualidade de sistema em cenários e tarefas comuns ao usuário. Os atributos da qualidade em uso são agrupados pelas características. O modelo de qualidade em uso foi utilizado para conceituar e avaliar a qualidade de sistemas sob o ponto de vista do usuário, dentro de um ambiente e um contexto estabelecido de utilização (ensino de Neuroanatomia).

A avaliação da qualidade interna e externa do objeto avaliado auxiliou na organização do conhecimento necessário ao entendimento das questões pedagógicas. Os resultados demonstraram que os aspectos psico-pedagógicos necessitam ser inseridos convenientemente em um ambiente computacional de ensino-aprendizagem considerando-se a qualidade interna, externa e em uso. Os sistemas devem ser por natureza: confiáveis, de qualidade, motivadores e agradáveis aos usuários.

A proposta metodológica de avaliação de SHAE considerou as normas de padronização internacional para modelos de qualidade em processos,

desenvolvimento e uso de software. Os resultados apontaram para a necessidade da avaliação, não somente em termos de acurácia, robustez, usabilidade do sistema, mas também a avaliação de sua efetividade educacional. A qualidade didático-pedagógica só pode ser atingida com a qualidade computacional.

A metodologia de avaliação multidimensional proposta neste trabalho parece interessante na interlocução entre interessados no projeto. As medidas de um Tutorial de Neuroanatomia foram hierarquicamente decompostas em um modelo de características e subcaracterísticas usadas como uma lista de verificação de assuntos relacionados à qualidade. A qualidade global foi calculada pela medição dos atributos internos e dos atributos de qualidade em uso. A validade dos resultados foi considerada [188].

O tutorial foi rejeitado por não atender os requisitos de qualidade estabelecidos na metodologia. Observou-se que os diferentes tipos de medições dependem dos objetivos, da natureza e do contexto de uso do sistema avaliado. A interpretação dos resultados permitiu validar o sistema através da *Validação baseada em critério* [49] comprovando-se que o mesmo apresenta insuficiência em relação aos seus objetivos. Além disso, a avaliação da qualidade em uso foi utilizada como *Prova Empírica* [49] para comprovar a adequação dos requisitos do sistema, examinando-se as relações entre seu uso e os resultados obtidos com usuários.

Através dos estudos desenvolvidos a autora verificou que existe um campo aberto para unificação de teorias que possam produzir metodologias de avaliação de sistemas computadorizados educacionais tanto no seu processo de desenvolvimento, quanto no seu uso.

Os trabalhos futuros poderão construir uma ferramenta de avaliação que inclua: especificações categóricas, gerenciamento do processo avaliativo e diretivas para utilização correta dos recursos para aprendizagem.

Como a TC oferece um rico simbolismo para visualização de fatos complicados tratando com objetos e suas associações, a ferramenta poderá facilmente incorporar os benefícios da orientação a objetos e o uso de diagramas visuais para projeto e avaliação de SHAE. Além disso, diversas categorias poderão ser modeladas: categoria de estudantes, categoria de conceitos, categorias de domínios, associadas por funtores.

A gestão do processo de avaliação proposto pelas normas ISO/IEC 14598, partes 1 [6] e 3 [160] pode oferecer flexibilidade na construção de instrumentos de coleta de dados a ferramenta poderá oferecer o cadastro de métricas com a possibilidade de habilitação ou a exclusão do conjunto de características e subcaracterísticas da ISO/IEC 9126 [148], bem como a atri-

buição de pesos aos atributos.

Os estudos futuros poderão utilizar as diretrizes da recente norma ISO/IEC 19796, partes 1 [179] e 3 [189], que tratam dos métodos de referência e métricas de qualidade no uso da tecnologia da informação para aprendizagem, educação e treinamento. Para padronização dos procedimentos de medição dos aspectos educacionais as pesquisas poderão ainda incorporar as contribuições das normas ISO/IEC 19788-1 [190] - que apresenta modelos de metadados para recursos de aprendizagem e ISO/IEC TS 29140-2 [191] - que fornece os modelos de informação para aprendizagem utilizando dispositivos móveis.

É importante ressaltar que qualquer técnica pode ser usada para identificar ajustes necessários, direcionar esforços, entre outras coisas, mas o método deve ser, a princípio, parcimonioso, fácil de aplicar e independente de qualquer ambiente, modelo de processo ou implementação.

\*\*\*

## REFERÊNCIAS

- [1] ADAMEK, J.; HERRLICH, H.; STRECKER, G. E. *Abstract and Concrete Category: the Joy of Cats*. Germany: GNU, 2004. 524-525.
- [2] BENYON, D.; MURRAY, D. Applying User Modeling to Human-Computer Interaction Design. *AI Review*, v. 7, n. 1, p. 199–225, 1993.
- [3] ALMEIDA, M. A. F.; AZEVEDO, F. M. A Categorical Model of Adaptive Educational Hypermedia Systems in Biomedical Engineering Project. In: *5th International Conference on Information Technology and Application in Biomedicine and 2nd International Symposium & Summer School on Biomedical and Health Engineering (EM-BEC2008)*. Shenzhen, China: EMBS IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. p. 611 – 614.
- [4] LAWVERE, F. W.; SCHANUEL, S. H. *Conceptual Mathematics: A First Introduction to Categories*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [5] ALMEIDA, M. A. F.; AZEVEDO, F. M. de. B-AEHS: a formal model for Adaptive Educational Hypermedia System in a Biomedical Project Evaluation. In: *4th European Congress For Medical and Biomedical Engineering (MBEC-2008)*. Antwerp: IEEE, 2008.
- [6] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 14598-1:1999 - Information Technology – Software Product Evaluation – Part 1: General Overview. Geneva, Switzerland, 1999.
- [7] ZUSE, K. The Machine That Changed the World: Interview with Konrad Zuse, inventor of first functional computer. Disponível em: <<http://www.waxy.org/2008/06/>> Acesso em: 12 outubro 2008.
- [8] DEV, P.; HOFFER, E. P.; BARNETT, G. O. Computers in Medical Education. In: *Biomedical Informatics Computer Applications in Health Care and Biomedicine*. 3. ed. New York: Springer Science+Business Media, 2006, (Health Informatics Series). cap. 21, p. 737–762.
- [9] ENGLAND, W.; ROBERTS, S. D. Applications of Computer Simulation in Health Care. In: *Proceedings of the 10th Conference on Winter Simulation (WSC'78)*. Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 1978. p. 665–677.

- [10] JANA, R. Taking the Pulse! of Medical Training. Disponível em: <<http://www.businessweek.com/>>. Acesso em: 23 outubro 2008.
- [11] NOGUEIRA JR., J. F.; CRUZ, D. N. Modelos reais e simuladores virtuais em Otorrinolaringologia: revisão da literatura. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, v. 76, p. 129–135, 2010.
- [12] SILVENNOINEN, M. Towards Technology-supported Surgical Training. In: *21st IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems*. Albuquerque, New Mexico, USA: IEEE Computer Society, 2008. p. 415–420.
- [13] DASSAULT SYSTEMES. Virtual Reality for Medical Research, Education, and Therapy. Disponível em: <<http://www.3ds.com/>>. Acesso em: 13 dezembro 2010.
- [14] KUMAR, A.; DEWAN, L.; SINGH, M. Real Time Monitoring System for ECG Signal Using Virtual Instrumentation. *WSEAS TRANSACTIONS on BIOLOGY and BIOMEDICINE*, v. 3, p. 638–643, 2006.
- [15] BENITEZ, D. S. et al. Virtual instrumentation for clinical assessment of cardiovascular and autonomic function. *Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings -*, v. 147, n. 6, p. 397–402, Nov. 2000.
- [16] BERGER, J. Biomedical and Medical Education within a Digital Society. *Journal of Applied Biomedicine*, v. 1, n. 1, p. 23–27, 2003.
- [17] BERGUER, R.; LOEB, R.; SMITH, W. D. Use of the virtual instrumentation laboratory for the assessment of human factors in surgery and anesthesia. *Stud Health Technol Inform*, v. 39, p. 187–194, 1997.
- [18] DUARTE, M. et al. An Intelligent Universal Virtual Laboratory (UVL). *IEEE Transactions on Education*, v. 51, n. 1, p. 2–9, February, 2008.
- [19] OLANSEN, J. B. et al. Using virtual instrumentation to develop a modern biomedical engineering laboratory. *Int. J. Eng. Educ*, v. 16, p. 244–254, 2000.
- [20] AHMAD, M. Z. Improvement Techniques for Enhancing Communication in Expert Systems. *Journal of Information and Communication Technology*, v. 1, n. 2, p. 65–73, 2007.



- [21] WARPECHOWSKI, M. Adaptive Hypermedia in the AdaptWeb Environment. In: *Proceedings Third International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2004) - Adaptive Hypermedia 2004*. The Netherlands: Eindhoven University of Technology, 2004. p. 70–80.
- [22] PANTELIDIS, V. S. Virtual Reality and Engineering Education. In: *Computer Applications in Engineering Education*. New York, USA: Wiley-Interscience, 1997. v. 5, n. 1.
- [23] VETTER, R.; SEVERANCE, C. Web-based Education Experiences. *IEEE- Computer*, v. 30, n. 11, p. 139–143, November, 1997. (Special Edition: The Changing Face of Education).
- [24] CARBONELL, J. G.; MICHALSKI, R. S.; MITCHELL, T. *An Overview of Machine Learning*. New York: Springer-Verlag, 1984. 3 – 23 p.
- [25] W3C. Diretrizes de Acessibilidade ao Conteúdo da Web (WCAG) - Uma Visão Geral. Disponível em: <<http://www.maujor.com/w3c/wcagoverview.html>>. Acesso em: 14 outubro 2008.
- [26] BRATSAS, C. et al. An Ontology-based Approach to Constructing Medical Computational Problems for Use in Electronic Medical Education. In: *Twentieth IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS07)*. Maribor, Slovenia: IEEE Press, 2007. p. 669–674.
- [27] KLIMA, M. Qualitative Aspects of Image Applications in Multimedia Technology. In: *17th International Conference Radioelektronika, 2007*. Prague: IEEE, 2007. p. 1–11.
- [28] ALMEIDA, M. A. F. *Hipertômatos na Computação aplicada à Educação*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, UFSC, Florianópolis, SC, Fevereiro, 2002. Acervo 183066 - CETD UFSC PGCC 0196.
- [29] CARBONELL, J. AI in CAI - An Artificial Intelligence Approach to Computer Assisted Instruction. *IEEE Transaction on Man-Machine Systems*, v. 11, n. 1, p. 190–202, 1998.

- [30] STEVENS, A.; COLLINS, A. *The goal structure of a Socratic Tutor*. Cambridge, Massachusetts, USA, 1977.
- [31] ROSIC, M.; STANKOV, S.; GLAVINIC, V. Intelligent Tutoring Systems for Asynchronous Distance Education. In: *10th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON 2000)*. [S.l.]: Springer-Verlag, 2000. p. 111–114.
- [32] HATZILYGEROUDIS, I.; GIANNOULIS, C.; KOUTSOJANNIS, C. Combining Expert Systems and Adaptive Hypermedia Technologies in a Web Based Educational System. In: *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT05)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer, 2005. p. 249–253.
- [33] ANDRIGHETTO, E. *Sistema de Processamento de Sinais Biomédicos: rede Wireless Zigbee com aplicação do Padrão IEEE 802.15.4*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- [34] SALDIAS, G. J. M. C. *Metodologia para a Construção de Interfaces Adaptáveis em Sistemas Tutores Inteligentes*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Agosto, 2002.
- [35] BARBOSA, A. T. R. *Mecanismo de Adaptação baseado em Redes Neurais Artificiais para Sistemas Hiperídia Adaptativos*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, UFSC, Florianópolis, SC, 2004.
- [36] PAIM, R. L. et al. Sistema Hiperídia com Interface Adaptativa em Câncer de Mama usando Redes Neurais Artificiais MLP e IAC. In: *X Congresso Brasileiro de Informática em Saúde*. Florianópolis, SC: SBIS, 2006. p. 791–794.
- [37] WEIBELZAHN, S. Problems and Pitfalls in the Evaluation of Adaptive Systems. In: *Adaptable and Adaptive Hypermedia Systems*. Hershey, PA, USA: IRM Press, 2005. p. 285–299.
- [38] NIELSEN, J. Finding Usability problems through Heuristic Evaluation. In: *Proceedings of CHI*. New York: ACM Press, 1992. p. 373–380.

- [39] NIELSEN, J.; LYNGBAEK, U. Two Fields Studies of Hypermedia Usability. In: MCALEESE, R.; GREEN, C. (Ed.). *Hypertext: State of the Art*. Oxford, UK: Intellect, 1990. p. 64–72.
- [40] WEIBELZAHN, S. Evaluation of Adaptive Systems. In: *Series Lecture Notes in Computer Science*. New York: Springer, 2003. p. 292–312.
- [41] WEIBELZAHN, S.; WEBER, G. Evaluating the Inference Mechanism of Adaptive Learning Systems. In: AL., P. B. et (Ed.). *User Modeling: Proceedings of the Ninth International Conference, UM2003*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2003. v. 2702, p. 154–162.
- [42] ARDITO, C. et al. Systematic Evaluation of E-learning systems: an Experimental Validation. In: *Proceedings of the 4th Nordic Conference on Human-computer interaction (NORDCHI'06)*. New York, USA: ACM Press, 2006. p. 195–202.
- [43] BRUSILOVSKY, P. Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User Adapted Interaction*, v. 11, n. 1, p. 87–110, 2001.
- [44] BRUSILOVSKY, P. Domain, task, and user models for an Adaptive Hypermedia performance support system. In: *Proceedings of the 7th international Conference on intelligent User interfaces (IUI02)*. San Francisco, California, USA: ACM Press, 2002.
- [45] KELLY, D.; TANGNEY, B. Empirical Evaluation of an Adaptive Multiple Intelligence Based Tutoring System. In: *Lecture Notes in Computer Science*. Berlin: Springer Berlin, Heidelberg, 2006. cap. 3, p. 308–311.
- [46] LARGE, A. et al. Bonded Design: a Methodology for Designing with Children. In: *Advances in Universal Web Design and Evaluation: Research, Trends and Opportunities*. London: Idea Group Publishing, 2007. cap. 4, p. 73–96.
- [47] MARK, M. A.; GREER, J. Evaluation Methodologies for Intelligent Tutoring Systems. In: *Third Workshop on Empirical Evaluation of Adaptive Systems*. The Netherlands: University of Technology, 2004.
- [48] NOGRY, S.; JEAN-DAUBIAS, S.; OLLAGNIER-BELDAME, M. Évaluation des EIAH: une nécessaire diversité des méthodes. In: *Proceedings of TICE 2004*. Compiègne, France: Academic Publishing, 2004. p. 265–271.

- [49] ARRUBARRENA, R. Compendio de Técnicas para Evaluación de Sistemas Hipermedia Adaptivos para La Educación. In: *III Simpósio Internacional de Informática Educativa*. Spain: University Press, 2006. p. 36–46.
- [50] BLAND, K.; LIEBOWITZ, J. Evaluating Hypermedia: a Methodology and Case Study. In: *International Conference on Multimedia Computing and Systems(ICMCS95)*. Washington, D.C.: IEEE Press, 1995. p. 123–130.
- [51] SIEMER, J.; ANGELIDES, M. Evaluating Intelligent Tutoring With Gaming-Simulations. In: ALEXOPOTDOS, C. (Ed.). *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*. Arlington, VA, USA.: ACM Press, 1995.
- [52] MACCIA, E. S. Epistemological Considerations in Relation to the Use of Teaching machines. *Educational Theory*, v. 12, n. 4, p. 234–246, 1962.
- [53] GOOD, T. L.; BROPHY, J. E. *Educational Psychology: a realistic approach*. 4. ed. New York, USA: White Plains, Longman, 1990.
- [54] REZABEK, L. L. Distance Education and Telecommunications Technologies: Lessons for Educators. In: ESTES, N.; THOMAS, M. (Ed.). *The Ninth International Conference on Technology and Education*. Paris, France: IETC, 1992. v. 3.
- [55] BORDELEAU, P. *Les Développements Technologiques:l'univers des Environnements Pédagogiques Informatisés Virtuels*. Montréal, Canada: Éditions Logiques, 1994.
- [56] PILKINGTON, R.; GRIERSON, A. Generating Explanations in a Simulation-Based Learning Environment. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 45, p. 527–551, 1996.
- [57] PILKINGTON, R.; PARKER-JONES, C. *Interacting With Computer-Based Simulation:The Role Of Dialogue in Computer Based Learning Unit*. Leeds, England, 1996.
- [58] BRENT, W. *Reflections on Constructivism and Instructional Design*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications, 1997. 12–21 p.

- [59] AZUMA, M.; COALLIER, F.; GARBAJOSA, J. How to Apply the Bloom Taxonomy to Software Engineering. In: *Proceedings of the Eleventh Annual International Workshop on Software Technology and Engineering Practice (STEP04)*. Los Angeles: Computer Society, 2004.
- [60] ARMANI, J.; BOTTURI, L. Bridging the gap with MAID: A Method for Adaptive Instructional Design. In: MAGOULAS, G. D.; CHEN, S. Y. (Ed.). *Advances in Web-based Education : personalized learning environments*. USA: Information Society Publishing, 2006. cap. VII, p. 147–177.
- [61] BHATT, C. B.; RAO, N. J. SCORM Metadata in the Context of Bloom-Vincenti Taxonomy and Intelligent Tutoring System. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Web Engineering (ICWE'06)*. New York, NY, USA: ACM, 2006.
- [62] GRAF, S. et al. Learning Styles and Cognitive Traits: their relationship and its benefits in Web-based Educational Systems. *Computers in Human Behavior*, v. 25, p. 1280 – 1289, 2009.
- [63] COHEN, B. Faraday and Franklin's Newborn Baby. *Proceedings of the American Philosophical Society*, v. 131, n. 2, p. 177–182, June 1987.
- [64] LAMBEK, J.; SCOTT, P. J. *Introduction to Higher Order Categorical Logic*. Cambridge, MA, USA: Cambridge University Press, 1986. (Cambridge Studies in Advanced Mathematics 7).
- [65] EILENBERG, S.; LANE, S. M. Relations between Homology and Homotopy Groups of Spaces. *Annals of Mathematics*, v. 46, n. 1, p. 480–509, 1945.
- [66] ASPERTI, A.; LONGO, G. *Categories, Types and Structures*. Cambridge: The MIT Press, 1991. (Foundations of Computing Series).
- [67] FOKKINGA, M. M. A Gentle Introduction to Category Theory: the Computational Approach. In: *Lecture Notes of the STOP 1992 Summerschool on Constructive Algorithmics*. The Netherlands: University of Utrecht, 1992. p. 1–72.
- [68] FOKKINGA, M. M. Calculate Categorically! *Formal Aspects of Computing*, v. 4, n. 4, p. 673–692, 1992.

- [69] PIERCE, B. C. *Basic Category Theory for Computer Scientists*. Massachusetts: MIT Press, 1991. (Foundations of Computing).
- [70] OOSTEN, J. V. Basic Category Theory. Basic Research in Computer Science (BRICS). January, 1995.
- [71] RYDEHEARD, D. E.; BURSTALL, R. M. *Computational Category Theory*. Hertfordshire, UK: Prentice Hall International, 1988.
- [72] HOARE, C. Notes on an Approach to Category Theory for Computer Scientists. In: BROY, M. (Ed.). *Constructive Methods in Computing Science*. New York: Springer-Verlag, 1989. v. 55, p. 245–305.
- [73] GOGUEN, J. A. A Categorical Manifesto. *Mathematical Structures in Computer Science*, v. 1, n. 11, p. 49–67, 1991.
- [74] COUSINEAU, G.; CURIEN, P. L. The Categorical Abstract Machine. *Sci. Comput. Program.*, Elsevier North-Holland, Inc., Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 173–202, 1987. ISSN 0167-6423.
- [75] HOFSTEDE, A. H. M.; LIPPE, E.; FREDERIKS, P. J. M. Conceptual Data Modeling from a Categorical Perspective. *The Computer Journal*, v. 39, n. 3, p. 215–231, 1996.
- [76] HOFSTEDE, A. H. M.; PROPER, H. A. How to Formalize It? Formalization Principles for Information System Development Methods. *Information and Software Technology*, v. 40, p. 519–540, October 1998.
- [77] REYNOLDS, J. C. Using functor categories to generate intermediate code. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGPLAN-SIGACT symposium on Principles of programming languages (POPL95)*. New York, USA: ACM, 1995. p. 25–36.
- [78] HILL, J. M.; CLARKE, K. An Introduction to Category Theory, Category Theory Monads, and their relationship to Functional Programming. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.53.6497>>. Acesso em: 12 agosto 2009.
- [79] AWODEY, S. *Category Theory*. USA: Oxford University Press, 2006.
- [80] BARRETT, J. W.; MACKAAY, M. Categorical Representations of Categorical Groups. *Theory and Applications of Categories*, v. 16, n. 20, p. 529–577, 2006.

- [81] FIADEIRO, J. L. *Categories for Software Engineering*. 1<sup>a</sup>.. Germany: Springer-Verlag, 2005.
- [82] JAY, C. B. An introduction to Categories in Computing. Disponível em: <<http://www-staff.it.uts.edu.au/cbj/Publications/catnotes.ps.gz>>. Acesso em: 23 maio 2008.
- [83] MARTINI, A.; EHRIG, H.; NUNES, D. *Elements of Basic Category Theory*. Berlin, March 1996.
- [84] TOTH, D. Database Engineering from the Category Theory Viewpoint. *Dateso*, v. 1, n. 1, p. 37–48, March, 2008. ISBN 978-80-248-1746-0.
- [85] TOTH, D. Unifying Categorical Framework for Database Formal Models. In: ATZENI, P.; CAPLINSKAS, A.; JAAKKOLA, H. (Ed.). *Proceedings of the 12th East European Conference Advances in Databases and Information Systems (ADBIS 2008)*. Pori, Finland: Tampere University of Technology. Pori. Publication, 2008. p. 176–179.
- [86] JOHNSON, M. W.; MILLER, T.; MCBURNEY, P. *Modelling Multi-agent Interaction Protocols using Categories Enriched over Pointed Sets*. Liverpool, UK, 2007. ULCS-07-009.
- [87] CAMPBELL, B.; GOODMAN, J. M. HAM: A General-Purpose Hypertext Abstract Machine. In: *Hypertext'87 Proceedings*. North Carolina, USA: ACM, 1987. p. 21–32.
- [88] HALASZ, F.; SCHWARTZ, M. The Dexter Hypertext Reference Model. *Communications of the ACM*, v. 37, n. 2, p. 30–39, 1994.
- [89] BRUSILOVSKY, P. Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia. *Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction*, v. 12, n. 6, p. 87–129, 1996.
- [90] BRUSILOVSKY, P.; SCHWARZ, E.; WEBER, G. ELM-ART: An Intelligent Tutoring System on World Wide Web. In: FRASSON, C.; GAUTIER, G.; LESGOLD, A. (Ed.). *Intelligent Tutoring Systems, Third International Conference, ITS96*. Berlin, Germany: Springer, 1996. p. 261–269.
- [91] FURUTA, R.; SCOTTS, P. The Trellis Hypertext Reference Model. In: *Proceedings NIST Hypertext Standardization Workshop*. Gaithersburg: National Institute of Science and Technology, 1990. p. 83–93.

- [92] STOTTS, P.; FURUTA, R. Petri-net-based Hypertext: Document Structure with Browsing Semantics. *ACM Transactions on Information Systems*, v. 7, n. 1, p. 3–29, 1989.
- [93] LAPUENTE, M. J. L. *Hipertexto: El nuevo concepto de documento en la cultura de la imagen*. Tese (Doutorado) — Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain, 2007.
- [94] HARDMAN, L.; BULTERMAN, D. C. A.; ROSSUM, G. V. The Amsterdam Hypermedia Model: adding time and context to the Dexter model. *Communications of the ACM*, v. 37, n. 2, p. 50–52, 1994.
- [95] GARZOTTO, F.; PAOLINI, F.; SCHWABE, D. P. HDM - A Model-based Approach to Hypermedia Applications Design. *ACM Trans. Inf. Syst.*, v. 1, n. 1, p. 1–26, 1993.
- [96] ROSSI, G.; SCHWABE, D.; LYARDET, F. Abstraction and Reuse Mechanisms in Web Application Models. In: *Proceedings of the Workshops on Conceptual Modeling Approaches for E-Business and The World Wide Web and Conceptual Modeling (ER00)*. Salt Lake City: Springer, 2000. p. 76–88.
- [97] LYARDET, F. D.; ROSSI, G. Enhancing Productivity in the Development of Hypermedia Applications. In: *Workshop of Next Generation Case Tools (NGCT 96)*. London: Springer, 1996. p. 745–766.
- [98] LYARDET, F. D.; ROSSI, G.; SCHWABE, D. Engineering Multimedia User Interfaces with Objects and Patterns. In: *2nd Workshop on Multimedia Software Engineering (MSE-IEEE), ICCSE 98 Conference*. Kyoto: IEEE, 1998. p. 51–58.
- [99] LANGE, D. An Object-Oriented design method for hypermedia information systems. In: *Proceedings of the 27th. Annual Hawaii International Conference on System Science*. Kohala Coast, Hawaii, USA: IEEE Computer Society, 1994. v. 3, p. 366–375.
- [100] ISAKOWITZ, T.; STOHR, E. A.; BALASUBRAMANIAN, P. RMM: A Methodology for the Design of Structured Hypermedia. *Communications of the ACM*, v. 38, n. 8, p. 34–44, August, 1995.
- [101] PANSANATO, L. T. E.; NUNES, M. das G. V. EHDM: Método para Projeto de Hiperdocumentos para Ensino. In: *Simpósio Brasileiro*



- de Sistemas Multimidia e Hipermidia (SBMIDIA99)*. Goiânia: SBC, 1999. p. 29–42.
- [102] HAREL, D. Statecharts: a Visual Formalism for Complex Systems. *Science of Computer Programming*, v. 8, n. 3, p. 231–274, June, 1987.
- [103] PAPASALOUROS, A.; RETALIS, S. Ob-AHEM: A UML enabled model for Adaptive Educational Hypermedia Applications. *Interactive Educational Multimedia*, v. 1, n. 4, p. 76–88, 2002.
- [104] BRA, P. D.; HOUBEN, G.; KORNAZKY, Y. Browsing Semantics in the Tower model. In: *Computing Science Notes*. Eindhoven: Prentice-Hall, 1993.
- [105] HOUBEN, G. J. et al. Adaptation engineering in adaptive concept-based systems. In: CHEN, S. Y.; MAGOULAS, G. D. (Ed.). *Adaptable and Adaptive Hypermedia Systems*. Hershey, PA, USA: IRM Press, 2005. v. 1, cap. 3, p. 36–58.
- [106] BRA, P. D.; CALVI, L. AHA!: An Open Adaptive Hypermedia Architecture. *The New Review of Hypermedia and Multimedia*, v. 4, p. 115–139, 1998.
- [107] BRA, P. D. et al. AHA! meets AHAM. In: *Second International Conference: Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2002)*. Malaga, Spain: Springer Berlin, 2002. v. 2347.
- [108] HENZE, N.; KRIESELL, M. Personalization Functionality for the Semantic Web: Architectural Outline and First Sample Implementations. In: *Proc. Third Intern. Conf. on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2004)*. The Netherlands: Eindhoven University of Technology, 2004. p. 27–37.
- [109] STASH, N.; DEBRA, P. Building Adaptive Presentations with AHA! 2.0. In: *Proceedings of the PEG Conference*. Saint-Petersburg, Russia: Virtech, 2003.
- [110] KOCH, N. *Software Engineering for Adaptive Hypermedia Systems: Reference Model, Modeling Techniques and Development Process*. Tese (Doutorado) — Ludwig-Maximilians-Universität München, 2000.

- [111] KOCH, N.; KRAUS, A. UML-based Web Engineering (UWE) - Towards a Common Metamodel for the Development of Web Applications. In: *Development of Web Applications*. Munich, Germany: Springer, 2003. p. 419–422.
- [112] VAROUTAS, P.-C.; RIZAND, P.; LIVARTOWSKI, A. Using Category Theory as a Basis for a Heterogeneous Data Source Search Meta-Engine : The Prométhée Framework. In: *11th International Conference (AMAST 2006)*. Kuressaare, Estonia: Springer, 2006. (Lecture Notes in Computer Science, v. 4019), p. 381–387.
- [113] SALDIAS, G. J. M. C. Intelligent Tutoring Systems: Formalization as Automata and Interface Design using Neural Networks. *Computers & Education*, Elsevier, v. 49, n. 3, p. 545–561, November, 2007.
- [114] AZEVEDO, F. M. de. *Contribution to the Study of Neural Networks in Dynamical Expert Systems*. Tese (Doutorado) — Institut D’Informatique, FUNDP, Namur, Bélgica, 1993.
- [115] BRASIL, L. M. et al. Hybrid Module of the IACVIRTUAL Project. *JACIII*, v. 10, n. 4, p. 472–476, 2006.
- [116] PAGANO, R.; BARRETO, J. M. Laboratory Experiment Simulation in Electrical Engineering Education. In: *Proceedings of ESC’89 - 3rd European Simulation Congress*. Edinburgh, UK: SCS International, 1989. p. 311–317.
- [117] PAGANO, R.; BARRETO, J. M. Psychodrame pédagogique et hypermédia. In: *Proceedings of Sixième Congrès APTLF*. Brussels, Belgium: APTLF, 1990.
- [118] PAGANO, R.; BARRETO, J. M. A Theoretical Model of Hipertext. In: *Proceedings of AINN’90 - International Conference of Artificial Intelligence Applications and Neural Networks*. Zurich, Germany: Acta Press, M.H. Hanza Edition, 1990. p. 10–15.
- [119] PAGANO, R.; BARRETO, J. M. Hypermedia Supporting a Psychodramatic Experience: a Case Study. In: *Proceedings of 8th ICTE’91 - The Eighth Internacional Conference on Technology and Education*. Toronto: ICTE, 1991. v. 2, p. 85–87.

- [120] PAGANO, R.; BARRETO, J. M. Hypertext Information Technology in Medical Education. In: *Proceedings of 6th Mediterranean Electro-technical Conference - IEEE-MELECON'91*. Yugoslavia: IEEE Press, 1991. v. 2, p. 1577–1580.
- [121] PAGANO, R. L. *Computer Simulation as an Educational Tool*. Tese (Doutorado) — Faculty of Applied Sciences, University of Louvain la Neuve, Belgium, 1992.
- [122] ALMEIDA, M. A. F. Aprender, atividade inteligente: e se esta inteligência for parcialmente artificial? Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação - UFSC, Florianópolis, SC, Setembro, 1999.
- [123] ALMEIDA, M. A. F.; BARRETO, J. M. Modelagem de um Sistema Hipermissão como Autômato para Ensino de Inteligência Artificial. In: *Anais do XX Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação - SBC 2000*. Curitiba, PR: [s.n.], 2000. p. 1–8. (ISBN 85-7292-050-1).
- [124] ALMEIDA, M. A. F.; AZEVEDO, F. M. de. Um modelo formal para projeto de Sistemas de Hipermissão Adaptativos Educacionais. In: *International Conference Interactive Computer Aided Blended Learning 2008*. Florianópolis, SC: International Association of Online Engineering, Austria, 2008. p. 1–10. ISBN 978-3-89958-466-0 (CD-ROM).
- [125] ALMEIDA, M. A. F.; AZEVEDO, F. M. de. Biomedical Adaptive Educational Hypermedia System: a theoretical model for Adaptive Navigation Support. In: KOMOROWSKA, M. A.; OLSZTYNSKA-JANUS, S. (Ed.). *Biomedical Engineering, Trends, Researches and Technologies*. Croatia: Intech Open Access Publisher, 2011. cap. 22, p. 509 – 528.
- [126] ALMEIDA, M. A. F.; AZEVEDO, F. M. de. Um Modelo Abstrato de Sistemas de Hipermissão Adaptativos Educacionais. In: *Conferência Ibero-Americana WWW/Internet 2008*. Lisboa, Portugal: International Association for Development of the Information Society, 2008.
- [127] DIJKGRAAF, R. et al. String Theory and Quantum Geometry. In: *Summer Public Lecture and Dialogue Schedule*. Aspen: Aspen Center for Physics, 2008.

- [128] HENZE, N.; NEJD, W. A Logical Characterization of Adaptive Educational Hypermedia. In: *International Workshop on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems (AH2003)*. London, UK: Taylor Graham Publishing, 2003. p. 77–113.
- [129] GARG, P. K. Abstraction Mechanisms in Hypertext. *Commun. ACM*, v. 7, n. 31, p. 862–870, July, 1988.
- [130] ADAMEK, J. Automata and Categories: finiteness against minimality. In: *Mathematical Foundations of Computer Science*. New York, NY, USA: Springer-Verlag, 1975, (Lecture Notes in Computer Science). p. 160–166.
- [131] BRUSILOVSKY, P.; BEAUMONT, I. Adaptative Hypertext and Hypermedia. In: *Proceedings of the 4th International Conference on User Modeling (UM94)*. Cape Cod, MA: UM Inc, 1994.
- [132] BRUSILOVSKY, P.; MILLÁN, E. User Models for Adaptive Hypermedia and Adaptive Educational Systems. *The Adaptive Web*, v. 1, p. 3–53, 2007.
- [133] FONSECA, G. T.; ALMEIDA, M. A. F. *Projeto FIP 2005/118 - TLE I - Desenvolvimento de um laboratório virtual de Neuroanatomia utilizando a ferramenta formal Hipertômato*. Arcos, Dezembro 2005.
- [134] MORISIO, M.; TSOUKIAS, A. IusWare: a Methodology for Evaluation and Selection of Software Products. *IEEE Proc. Software Engineering*, v. 144, n. 3, p. 162–174, June, 1997.
- [135] PRETONUS, W. A.; HELBERG, A. S. Application of an Adapted Evaluation Process using Numerical & Qualitative Weighted Sum Techniques. In: *7th AFRICON Conference in Africa, (AFRICON 2004)*. Africa: IEEE Computer, 2004. v. 2, n. 15, p. 367–372.
- [136] GUPTA, A.; GROVER, P. S. Proposed Evaluation Framework for Adaptive Hypermedia Systems. In: *Proc. Third Intern. Conf. on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2004)*. The Netherlands: Eindhoven University of Technology, 2004. p. 162–171.
- [137] KITCHENHAM, B. et al. Preliminary Guidelines for Empirical Research in Software Engineering. *IEEE Transactions on Software Engineering*, v. 28, n. 8, p. 721–734, 2002.

- [138] SCRIVEN, M. *Evaluation Thesaurus*. 3. ed. California, USA: Edgepress, 1981.
- [139] PATTON, M. Q. *Qualitative Research & Evaluation Methods*. 3. ed. California, USA: Sage Publications Inc., 2002.
- [140] GUBA, E.; LINCOLN, Y. *Fourth Generation Evaluation*. London, UK: Sage Publications, 1989.
- [141] BUREAU OF JUSTICE ASSISTANCE. Program Evaluation - Center for Program Evaluation. Disponível em: <<http://www.jrsa.org/holding/guide/pe4.htm>>. Acesso em: 23 maio 2007.
- [142] KITCHENHAM, B. A.; PICKARD, L. Case Studies for Method and Tool Evaluation. *IEEE Software*, v. 12, n. 4, p. 52–62, July, 1995.
- [143] BRANDÃO, M. F. R. *Um modelo de Avaliação de Programa de Inclusão Digital e Social*. Tese (Doutorado) — Universidade de Brasília, Brasília, Janeiro 2009.
- [144] BRANDÃO, M. F. R.; TRÓCOLLI, B. T. Análise de agrupamento de escolas e núcleos de tecnologia educacional: mineração na base de dados de avaliação do Programa Nacional de Informática na Educação. In: *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Rio de Janeiro: SBC, 2003. p. 366–374.
- [145] BRANDÃO, M. F. R.; TRÓCOLLI, B. T. Um Modelo de Avaliação de Projeto de Inclusão Digital e Social: Casa Brasil. In: *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação SBIE*. Brasília: SBC, 2006.
- [146] SILVEIRA, F. L. Relação entre os índices de discriminação de itens em testes psicométricos e duas outras estatísticas: variância do escore total e coeficiente de fidedignidade. *Ciência e Cultura*, v. 2, n. 33, p. 256–248, 1981.
- [147] TYLER, R. W. *Testes e Medidas (Trad.)*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1981.
- [148] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 9126-1:2001 - Software Engineering – Product Quality – Part 1: Quality Model. Geneva, Switzerland, 2001.

- [149] ALOTAIBY, F. T.; CHEN, J. X. Generic Summative Assessment Functional Model. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing and First ACIS International Workshop on Self-Assembling Wireless Networks (SNPD/SAWN 05)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005. p. 340–345. ISBN:0-7695-2294-7.
- [150] BOEGH, J. Evaluation modules: the link between theory and practice. In: *Proceedings of the 2nd IEEE Software Engineering Standards Symposium*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1995. p. 170–175.
- [151] CONTANDRIOPOULOS, A. P. et al. A avaliação na área da saúde: conceitos e métodos. In: *Avaliação em Saúde: Dos Modelos Conceituais à Prática na Análise da Implantação de Programas*. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Fiocruz, 1997. p. 29–48.
- [152] UNITED KING. *Evaluation of Education, Lifelong Learning and Skills Activities, Policies and Products: A Step-by-Step Guide*. London, UK, March, 2006.
- [153] DESLANDES, S. F. Avaliação. Disponível em: <<http://www.determinantes.fiocruz.br/>>. Acesso em: 15 novembro 2007.
- [154] SJOBERG, D. I. K.; DYBA, T.; JORGENSEN, M. The Future of Empirical Methods in Software Engineering Research. In: L., B.; A., W. (Ed.). *2007 Future of Software Engineering*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007. (FOSE 07), p. 358–378.
- [155] WEISS, C. H. *Evaluation: Methods for Studying Programs and Policies*. 2. ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 1998.
- [156] STUFFLEBEAM, D. L.; SHINKFIELD, A. J. *Evaluation Theory, Models, and Applications*. San Francisco, CA: Wiley, 2007.
- [157] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 14598-5:1998 - Information Technology – Software Product Evaluation – Part 5: Process for Evaluators. Geneva, Switzerland, 1998.

- [158] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 14598-4:1999 - Software Engineering – Product Evaluation – Part 2: Planning and Management. Geneva, Switzerland, 1999.
- [159] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 14598-2:2000 - Software Engineering – Product Evaluation – Part 2: Planning and Management. Geneva, Switzerland, 2000.
- [160] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 14598-3:2000 - Software Engineering – Product Evaluation – Part 3: Process for Developers. Geneva, Switzerland, 2000.
- [161] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 14598-6:2001 - Software Engineering – Product Evaluation – Part 6: Documentation of Evaluation Modules. Geneva, Switzerland, 2001.
- [162] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC TR9126-2:2003 - Software Engineering – Product quality – Part 2: External Metrics. Geneva, Switzerland, 2003.
- [163] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC TR9126-3:2003 - Software engineering – Product quality – Part 3: Internal metrics. Geneva, Switzerland, 2003.
- [164] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC TR9126-4:2004 - Software Engineering – Product Quality – Part 4: Quality in Use Metrics. Geneva, Switzerland, 2004.
- [165] KOSCIANSKI, A. et al. Guia para utilização das normas sobre avaliação de qualidade de produto de software - ISO/IEC 9126 e ISO/IEC 14598. Maio, 1999.
- [166] PRESSMAN, R. S. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. 6. ed. New York, USA: McGraw-Hill, 2005.
- [167] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 25020:2007 - Software Engineering – Software Product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Measurement Reference Model and Guide. Geneva, Switzerland, 2007.
- [168] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 25021:2007 - Software Engineering – Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Quality Measure Elements. Geneva, Switzerland, 2007.
- [169] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 25030:2007 - Software Engineering – Software Product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Quality Requirements. Geneva, Switzerland, 2007.

- [170] KITCHENHAM, B. A. Evaluation Software Engineering Methods and Tool - Part 2: Selecting an Appropriate Evaluation Method - Technical Criteria. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, v. 21, n. 2, p. 11–15, March 1996.
- [171] GUNTHER, H. Como elaborar um questionário. In: *Planejamento de Pesquisa em Ciências Sociais*. Brasília, DF: Laboratório de Psicologia Ambiental UNB, 2003.
- [172] TAYLOR, M. A.; URBAN, J. E. A Method for Evaluating Software Engineering Environments. In: *Proceedings of Eighteenth Annual International Computer Software and Applications (COMPSAC 94)*. Taipei, Taiwan: IEEE Computer, 1994. v. 9, p. 445–450.
- [173] VIANNA, H. M. *Avaliação educacional: problemas gerais e formação do avaliador*. São Paulo: Ibrasa, 1989. 17–27 p.
- [174] REEVES, T. C. Evaluation tools. Disponível em: <<http://evaluateitnow.com/Downloads/Downloads.htm>>. Acesso em: 10 setembro 2010.
- [175] WANG, Y. The Theoretical Framework and Cognitive Process Of Learning. In: *Proc. 6th IEEE Int. Conf. on Cognitive Informatics (ICCI'07)*. Tsinghua: IEEE, 2007.
- [176] POSTLETHWAITE, T. N. Educational Research: some basic concepts and terminology. In: N.ROSS, K. (Ed.). *Quantitative Research Methods in Educational Planning*. Paris, France: UNESCO - International Institute for Educational Planning, 2005.
- [177] CHOU, C. Construction of a Virtual Reality Learning Environment for teaching structural analysis. In: *Computer Applications in Engineering Education*. New York: John Wiley & Sons, 1997. v. 5, n. 4, p. 223–230.
- [178] PAWLOWSKI, J. M. The Quality Adaptation Model: Adaptation and Adoption of the Quality Standard ISO/IEC 19796-1 for Learning, Education, and Training. *Educational Technology & Society*, v. 2, n. 10, p. 3–16, 2007.
- [179] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 19796-1 Information technology – Learning, education and training – Quality management, assurance and metrics – Part 1: General approach. Geneva, Switzerland, 2005.



- [180] BLOOM, B. S. et al. *Taxionomia dos Objetivos Educacionais - domínio cognitivo (Trad.)*. Porto Alegre: Globo, 1973.
- [181] ABE, T.; STARR, P. J. Work in Progress: Using Bloom's Taxonomy as a Format for Self-Evaluation of Design Education Activities. In: *34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. Savannah: IEEE, 2004. p. 14–15.
- [182] MCMEEKIN, D. A. et al. Checklist Inspections and Modifications: Applying Bloom's Taxonomy to Categorise Developer Comprehension. In: *The 16th IEEE International Conference on Program Comprehension*. Amsterdam, The Netherlands: IEEE Computer, 2008. p. 224–229.
- [183] OLIVER, D. et al. This Course Has A Bloom Rating Of 3.9. In: *Sixth Australasian Computing Education Conference (ACE2004)*. Dunedin, New Zealand: Australian Computer Society, Inc., 2004. v. 30, p. 227–231.
- [184] OLIVEIRA, E.; JORGE, L. Questionnaire for user interface satisfaction. Disponível em: <<http://homepages.dcc.ufmg.br/clarindo/>>. Acesso em: 10 setembro 2010.
- [185] PEREIRA JR., C.; CAPETO, R. Indicadores para avaliação de websites. Disponível em: <<http://www.tele-centros.org/telecentros/>>. Acesso em: 12 outubro 2011.
- [186] SANTOS, R.; MOREIRA, C. Requisitos ergonômicos para interfaces de busca em bibliotecas online. Disponível em: <<http://www.gercinalima.com/mhtx/>>. Acesso em 22 abril 2007.
- [187] SANTOS, R. L. G. dos. *Usabilidade de Interfaces para Sistemas de Recuperação de Informação na Web: Estudo de caso de bibliotecas on-line de universidades federais brasileiras*. Tese (Doutorado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Outubro 2006.
- [188] ALMEIDA, M. A. F.; AZEVEDO, F. M. Modelos de Qualidade na Avaliação de Programas Educacionais em Engenharia Biomédica. In: *Anais do XXII CBEB - Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica 2010*. Tiradentes: SBEB, 2010.

- 
- [189] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 19796-3 Information technology – Learning, education and training – Quality management, assurance and metrics – Part 3: Reference methods and metrics. Geneva, Switzerland, 2009.
- [190] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC 19788-1 - Information technology – Learning, education and training – Metadata for learning resources – Part 1: Framework. Geneva, Switzerland, 2011.
- [191] ISO/IEC (Org.). ISO/IEC TS 29140-2 - Information technology for learning, education and training – Nomadicity and mobile technologies – Part 2: Learner information model for mobile learning. Geneva, Switzerland, 2011.

**APÊNDICE A – INSTRUMENTOS DO PROCESSO AVALIATIVO**

Tabela 10: Propósitos da avaliação

Propósitos da avaliação	
Código da avaliação:	
Data:	
Nome do avaliando:	
Tipo de avaliando:	
Equipe de avaliação:	
Propósitos da avaliação	

Tabela 11: Modelo de Qualidade

<i>Especificação do Modelo de Qualidade</i>	
Código da avaliação:	
Data:	
Nome do avaliando:	
Descreva os requisitos de qualidade externa:	
Descreva os requisitos de qualidade interna:	
Descreva os requisitos de qualidade em uso:	

Tabela 12: Plano de Avaliação  
Plano de Avaliação

Avaliador:	
Avaliando:	
Instruções	Pontos
<i>Crítérios</i>	Descrição
Introdução e Fundamentação	Existe uma orientação sobre o contexto da avaliação e uma visão geral do plano de avaliação? O avaliando, os usuários, e os avaliadores estão identificados? O leitor pode entender a natureza do avaliando e o contexto da avaliação?
Objetivos	Os objetivos da avaliação estão delineados claramente, incluindo ambos, os aspectos formativo e somativo, se forem relevantes?
Público-alvo	O público-alvo participante da avaliação está identificado?
Decisões e Questões	As decisões e questões que podem ser direcionadas pela avaliação estão identificadas? A articulação entre as decisões e as questões estão claras?
Métodos	Os métodos usados na avaliação estão completamente descritos? Os métodos estão apropriados dentro das restrições da avaliação?

Tabela 13: Plano de Avaliação - continuação

<b>Plano de Avaliação</b>	
Amostra	As pessoas (estudantes, instrutores, e/ou especialistas) que participarão da avaliação estão identificados? Os participantes estão adequados para os propósitos da avaliação? O tamanho da amostra é adequado para os métodos de análise?
Instrumentação	Os instrumentos e as ferramentas de avaliação estão descritos? É fornecida uma base racional para uso desses métodos e ferramentas? A confiabilidade e a validação foram consideradas? Os instrumentos da amostragem estão em apêndices no plano de avaliação?
Limitações	Quais são as limitações para a interpretação e generalização da avaliação? As potenciais ameaças à confiabilidade e a validação estão descritas no projeto e na instrumentação?
Logística e Cronograma	As partes responsáveis pelos vários aspectos do levantamento de dados, da análise, e do relatório estão identificadas claramente? As informações adicionais sobre como a avaliação será conduzida estão incluídas? O cronograma da avaliação considera o tempo adequado para execução, análise e preparação do relatório?
Recursos	Os recursos para a avaliação foram alocados adequadamente? A quantia de tempo e outros recursos associados para o processo foram estimados?
<i>Pontuação Total</i>	



## APÊNDICE B – CÁLCULO MÉTRICAS DAS DIMENSÕES 1, 2, 3 E 4

Tabela 15: Cálculo métricas internas da dimensão 1: Funcionalidade

Sub-carac.	Métricas internas	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Adequação	Adequação funcional	A = número de funções c/ problemas	57	$X = 1 - \frac{A}{B}$	$X = 1 - \frac{57}{526}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
		B = número de funções avaliadas	526		0,89	
Segurança	Controlabilidade de acessos	A = número de requisitos de controlabilidade implementados corretamente	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{12}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
		B=número de requisitos de controlabilidade especificados	2		0	

Tabela 16: Cálculo métricas internas da dimensão 1: Confiabilidade e Manutenibilidade

Confiabilidade	Tolerância a falhas	Prevenção de operações incorretas	A = número de funções implementadas para evitar operações incorretas		12	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{12}{34}$	0 ≤ X Quanto maior X, melhor a prevenção
			B = número de operações incorretas a serem consideradas					
Manutenibilidade	Análise-bilidade	Registro de atividades	A = número de itens de dados especificados implementados		23	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{23}{58}$	0 ≤ X ≤ 1 Quanto mais próximo de 1, melhor
			B = número de itens que requerem registro especificados		58		0,40	
	Modificabilidade	Registro de mudanças	A = número de mudanças em funções / módulos		0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{16}$	0 ≤ X ≤ 1 Quanto mais próximo de 1, melhor
			B = número total de módulos /funções mudadas no código original		12		0	



Tabela 17: Cálculo métricas externas da dimensão 1: Funcionalidade e Confiabilidade

Características Funcionalidade	Sub características	Métricas externas	Variáveis	Mediadas	Cálculo	Resultados	Interpretação
	Acurácia	Acurácia computacional	A = num. de cálculos imprecisos encontrados	0	$X = \frac{A}{T}$	$X = \frac{0}{260}$	Quanto mais próximo de 0, melhor
			T = tempo de operação	260		0	
	Segurança de acesso	Prevenção de corrupção de dados	A = num. de ocorrências de corrupção de dados	20	$X = 1 - \frac{A}{N}$	$X = 1 - \frac{20}{32}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
			N = num. de casos de teste de tentativa de corrupção de dados	32		0,38	
Confiabilidade	Maturidade	Remoção de falhas	A <sub>1</sub> = num. de falhas corrigidas	11	$X = \frac{A_1}{A_2}$	$X = \frac{11}{13}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
			A <sub>2</sub> = num. total de falhas detectadas	13		0,85	
	Tolerância a falhas	Prevenção de panes	A = num. total de falhas durante a operação (MTBF)	1	$X = \frac{T_1}{A}$	$X = \frac{T_1}{A}$	Quanto mais longo, melhor.
			T <sub>1</sub> = tempo de operação	260		$X = \frac{260}{260}$	
	Recuperabilidade	Tempo médio de parada	A = número de panes	2	$X = 1 - \frac{A}{B}$	$X = 1 - \frac{2}{11}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
			B = número de falhas	11		0,82	
			T = tempo total de parada	3	$X = \frac{T}{N}$	$X = \frac{7}{N}$	Quanto menor, melhor
			N = num. de panes	2		1,5	

Tabela 18: Cálculo métricas externas da dimensão 1: Manutenibilidade e Portabilidade

Características	Sub características	Métricas externas	Variáveis	Médias	Cálculo	Resultados	Interpretação
<b>Manutenibilidade</b>	Análise de habilidade	Funções de diagnóstico	A = num. de falhas diagnosticadas por função de diagnóstico	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{13}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
			B = num. total de falhas registradas	13			
<b>Portabilidade</b>	Adaptabilidade	Portabilidade amigável ao usuário	T = soma do tempo de operação de adaptação	2	X = A	2	Quanto mais curto, melhor.
			A = num. de funções nas quais as tarefas não foram concluídas	6			
		Adaptabilidade ao ambiente operacional	B = num. total de funções que foram testadas	526	$X = 1 - \frac{A}{B}$	$X = 1 - \frac{6}{526}$ 0,99	Quanto mais próximo de 1, melhor
	Capacidade p/ Instalação	Esforço para instalação	A = num. de ações para a instalação	6	X = A	6	Quanto menor, melhor
	Coexistência	Disponibilidade da Coexistência	A = num. de falhas inesperadas em operação concorrente	2	$X = \frac{A}{T}$	$X = \frac{2}{260}$	Quanto mais próximo de 0, melhor
			T = tempo de duração da operação concorrente	260			

Tabela 19: Cálculo métricas internas da dimensão 2: Usabilidade

Sub-características	Métricas internas	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Inteligibilidade	Funções evidentes	A = num. de funções evidentes para o usuário B= num. total de funções	123 526	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{123}{526}$ 0,23	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
		A=num. de funções descritas B= num. total de funções	12 526		$X = \frac{12}{526}$ 0,023	
Operabilidade	Verificação da validade de entrada	A=num. de itens de dados de entrada os quais verificam a validade dos dados B=num. de itens de entrada que poderiam verificar a validade dos dados	0 7	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{7}$ 0	$0 \leq X$ Quanto maior X, melhor a prevenção
		A= num. de funções implementadas que podem ser canceladas pelo usuário B= num. total de funções	5 526		$X = \frac{5}{526}$ 0,001	
	Clareza das mensagens auto-explicativas	A=num. de funções de deslizar B= num. total de funções	0 526	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{526}$ 0	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
		A=num. de mensagens implementadas com explicações claras B=num. de mensagens implementadas	1 15		$X = \frac{1}{15}$ 0,07	
	Clareza dos elementos da interface	A=num. de elementos da interface auto explicativos B= num. total de elementos da interface	21 1278	$X = \frac{21}{1278}$	$X = \frac{A}{B}$ 0,02	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor

Tabela 20: Cálculo métricas externas da dimensão 2- Usabilidade: inteligência

Sub-características	Métricas externas	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Inteligibilidade	Plenitude da descrição	A = num. de funções compreendidas	356	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{356}{389}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo
		B = num. total de funções	389		0,92	de 1, melhor
	Acessibilidade da demonstração em uso	A = num. de demonstrações visualizadas com sucesso	11	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{11}{14}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo
		B = num. de tentativas de visualização demonstrações	14		0,79	de 1, melhor
	Efetividade da demonstração	A = num. de demonstrações tutoriais acessados	14	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{14}{378}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo
		B = num. de funções operadas com sucesso	378		0,04	de 1, melhor
	Compreensibilidade de entrada e saída	A = num. de dados entrada/saída compreendidas com sucesso	17	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{17}{21}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo
		B = num. de dados de entrada e saída disponíveis na interface	21		0,81	de 1, melhor
	Compreensibilidade de Funções	A = num. de funções da interface descritas corretamente	15	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{15}{279}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo
		B = num. de funções disponíveis na interface	279		0,05	de 1, melhor

Tabela 21: Cálculo métricas externas da dimensão 2- Usabilidade: apreensibilidade

Sub-características	Métricas externas	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Apreensibilidade	Facilidade de aprendizagem das funções	$T$ tempo médio necessário para aprendizagem correta das funções	14	$T = \text{tempo}$	14	$0 < T$ Quanto menor, melhor
	Facilidade de aprendizagem para execução de tarefas em uso	$T$ = soma tempo de operação para execução de tarefas específicas em um período de tempo	241	$T = \text{tempo}$	241	$0 < T$ Quanto menor, melhor
	Eficácia da documentação e/ou do sistema de ajuda	$A$ = num. de tarefas concluídas após acesso a ajuda $B$ = num. total de tarefas testadas	212 255	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{212}{255}$ 0,83	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
	Uso correto de funções após leitura do manual e/ou do sistema de ajuda	$A$ = num. de funções que podem ser usadas $B$ = num. total de funções previstas	367 389	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{367}{389}$ 0,94	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
	Acessibilidade da ajuda	$A$ = num. de tarefas localizar a ajuda $B$ = num. total de tarefas testadas	101 389	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{101}{389}$ 0,26	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
	Frequência da ajuda	$A$ = num. de acessos a ajuda para completar a tarefa	12	$X = A$	12	$0 \leq X$ Quanto menor, melhor

Tabela 22: Cálculo métricas externas da dimensão 2- Interface: Operabilidade

Sub-características	Métricas externas	Variáveis	Médidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Operabilidade	Personalização pelo usuário	$A = \text{num. de funções personalizadas com sucesso}$	12	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{12}{15}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
		$B = \text{num. de tentativas de personalização}$	15			
		Mensagens de auto-explicativas	13			
		$A = \text{num. de condições de erro para os quais o usuário propõe uma ação de recuperação correta}$	22	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{13}{22}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
		$B = \text{num. de condições de erro testadas}$	0		0,6	
	Correção de erros em uso	$A = \text{num. de vezes de cancelamento de operação de erro}$	0	$X = \frac{A}{UOT}$	$X = \frac{0}{260}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
		$UOT = \text{tempo de operação do usuário durante o período de observação}$	260			
	Disponibilidade do valor default em uso	$A = \text{num. de vezes que o usuário não seleciona valores de parâmetros em um período de tempo}$	1	$X = 1 - \frac{A}{B}$	$X = 1 - \frac{1}{2}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
		$B = \text{num. total de tentativas de seleção de valores de parâmetros}$	2			
Atratividade	Atratividade da interação	$X = \text{contagem}$	67	questionário para os usuários	67/100 0,67	Depende do método de classificação do questionário

Tabela 23: Cálculo métricas externas da dimensão 2- Interface: Adaptatividade

Sub-características	Métricas externas	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Interatividade	Grau de interatividade	A= num. de sessões interativas da interface	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{121}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
		B=num. total de sessões	121			
Apresentação	Estilo de apresentação	A= número de sessões adaptativas da interface	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{121}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
		B=num. total de sessões	121			
Navegação	Atributos da navegação	A= número de componentes adaptativas da interface	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{569}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
		B=num. total de componentes apresentados durante a operação	569			
Mecanismos de adaptação	Atualização dos mecanismos de adaptação	A= tempo de atualizações da interface	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{260}$	Quanto mais próximo de 1, melhor
		B=tempo total de operação	260			

Tabela 24: Cálculo métricas externas da dimensão 3 - Eficiência

Sub-características	Métricas externas	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Comportamento em relação ao tempo	Número de tarefas completadas por unidade de tempo (Throughput)	$A = \text{num. de tarefas completadas}$	255	$X = \frac{A}{T}$	$X = \frac{255}{260}$	Quanto maior, melhor
		$T = \text{período de tempo da observação}$	260			
	Tempo de espera	$Ta = \text{tempo total gasto na espera}$	1	$X = \frac{Ta}{T}$	$X = \frac{1}{1.3}$	$0 \leq X$ Quanto menor, melhor.
		$Tb = \text{tempo da tarefa}$	1.3			
Comportamento em relação a utilização dos recursos	Tempo de espera do usuário no uso de dispositivos entrada/saída	$T = \text{tempo gasto para conclusão da operação de dispositivos de entrada/saída}$	1	$T = \text{tempo}$	$T = 1$	Quanto menor, melhor.
		$Rmedio = \text{num. médio de mensagens de erro relacionadas à memória}$	1			
	Média de ocorrências de erro de memória	$Ai = \text{num. de mensagens de erros relacionados à memória na i-ésima avaliação}$	2	$X = \frac{Amedio}{Rmedio}$	$X = \frac{100}{0,017}$	Quanto menor, melhor.
		$N = \text{num. médio de avaliações}$	121			
Média de transmissão de mensagens de erro por tempo	$A = \text{num. de mensagens de advertência ou de falhas}$	1	$X = \frac{A}{T}$	$X = \frac{1}{260}$	$0 \leq X$ Quanto menor, melhor.	
$T = \text{tempo de operação observado}$	260					



Tabela 25: Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 3 - Produtividade

Métricas de qualidade em uso	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Tempo da tarefa	TO = Tempo ocioso do usuário	3	$X = \frac{TO}{TF}$	$\frac{3}{52}$	$0 \leq X$ Quanto menor, melhor.
	TF= Tempo para completar tarefa	52		0,06	
Eficiência da tarefa	M1 = efetividade da tarefa	0,91	$X = \frac{M1}{T}$	$X = \frac{0,91}{0,06}$	$0 \leq X$ Quanto maior, melhor.
	T = tempo da tarefa	0,06		15,17 (tarefas/minuto)	
Produtividade econômica	M1 = efetividade da tarefa	Não se aplica	$X = \frac{M1}{C}$	Não se aplica	$X \geq 0$ Quanto maior, melhor.
	C = custo total da tarefa	Não se aplica		Não se aplica	
Proporção Produtiva	TQ = tempo de pesquisa	0	$TP = TF - TJ - TE - TQ$	$X = \frac{47}{52}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
	TJ = tempo de ajuda	1		$X = \frac{TP}{TF}$	
	TE = tempo perdido com erros	4			
	TP = tempo produtivo	$TP = 52 - 1 - 4 - 0 = 47$			
Eficiência relativa do usuário	M2 = número de tarefas incorretas do usuário iniciante	26	$E2 = \frac{M2}{TF2}$	$\frac{E2}{E3}$	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor
	M3 = número tarefas incorretas usuário avançado	22		$\frac{26}{3} = 5,2$	
	TF2 = Tempo tarefa usuário iniciante	5		$E3 = \frac{M3}{TF3}$	
	TF3 = Tempo tarefa usuário avançado	4		$\frac{22}{4} = 5,5$	
Grau de produtividade do usuário	A = produtividade de um usuário comum	Não se aplica	$X = \frac{A}{B}$	Não se aplica	$0 \leq X \leq 1$ Quanto mais próximo de 1, melhor.
	B = produtividade de um usuário especializado	Não se aplica		Não se aplica	

Tabela 26: Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 3 - Segurança e Satisfação do usuário

Elementos Comportamentais	Métricas de qualidade em uso	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Segurança	Saúde e Segurança do usuário	A = num. de usuário com LER, fadiga ou dor de cabeça,	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{121}$	Quanto mais próximo de 0, melhor
		B = total de usuários	121		0	
	Segurança das pessoas afetadas pelo uso do sistema	A = num. de pessoas colocadas em perigo	Não se aplica	$X = \frac{A}{B}$	Não se aplica	Quanto mais próximo de 0, melhor
		B = total de pessoas afetadas pelo sistema	Não se aplica			
Danos econômicos	Danos econômicos	A = num. de ocorrências de danos econômicos,	Não se aplica	$X = 1 - \frac{A}{B}$	Não se aplica	Quanto mais próximo de 1, melhor
		B = total de situações medidas	Não se aplica			
Danos no software	Danos no software	A = num. de ocorrências de danos no software	0	$X = \frac{A}{B}$	0	Quanto mais próximo de 0, melhor
		B = total de situações medidas	121			
		A = item de questionário com escala psicométrica	0 a 100			
Satisfação do usuário	Escala de Satisfação	B = média da população	65,40 %	$X = \frac{A}{B}$	65,40 %	Quanto maior, melhor.
		A = resultado da pesquisa	81,22 %			
Opção pelo produto	Opção pelo produto	A = num. de vezes que a função, aplicação ou sistema é usado	Não se aplica	$X = \frac{A}{B}$	Não se aplica	Quanto mais próximo de 1, melhor
		B = num. que o usuário teve a intenção de usar.	Não se aplica			

Tabela 27: Cálculo métricas internas da dimensão 4

Componentes educacionais	Sub-características	Métricas internas	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação
Concepção Pedagógica	Projeto pedagógico	Identificação	A = existência de identificador do projeto (sim/não)	0	$X = A$	0	Definição da escala
		Objetivos	A = definição dos objetivos no projeto (escala graduada)	0	$X = A$	0	Definição da escala
		Metodologia	A = definição da metodologia no projeto (escala graduada)	0	$X = A$	0	Definição da escala
Suporte à aprendizagem	Flexibilidade	Uso de atalhos	A = número de atalhos para tarefas	12	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{12}{231}$	0 ≤ X ≤ 1 Quanto mais próximo de 1, melhor
			B = número de tarefas a executar	231			
	Interatividade	Seções do programa	A = número de seções longas	67	$X = \frac{A}{B}$	0,052 $X = \frac{67}{389}$	0 ≤ X ≤ 1 Quanto mais próximo de 1, melhor
			B = número total de seções	389			

**Tabela 28: Cálculo métricas externas da dimensão 4**

Componentes educacionais	Sub-características educacionais	Métricas externas	Variáveis	Medidas	Cálculo	Resultados	Interpretação	
Concepção Pedagógica	Definição dos objetivos educacionais	Nível de conhecimento	A = num. de atividades de memorização	1	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{1}{12}$ 0,08	Depende da estratégia pedagógica	
			B = num. total de atividades	12				
			A = num. de atividades de compreensão	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{12}$	Depende da estratégia pedagógica	
		Nível de compreensão	B = num. total de atividades	12			0	
			A = num. de atividades de aplicação	6	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{6}{12}$		Depende da estratégia pedagógica
			B = num. total de atividades	12			0,5	
		Nível de análise	A = num. de atividades de análise	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{12}$		Depende da estratégia pedagógica
			B = num. total de atividades	12			0	
			A = num. de atividades de síntese	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{12}$		Depende da estratégia pedagógica
		Nível de síntese	B = num. total de atividades	12			0	
			A = num. de atividades de avaliação	0	$X = \frac{A}{B}$	$X = \frac{0}{12}$		Depende da estratégia pedagógica
			B = num. total de atividades	12			0	

Tabela 29: Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 4 - Aspectos de conteúdos

Componentes educacionais	Características Métricas de qualidade em uso	Variáveis	Medidas (Nmax)	Cálculo P <sub>vsc</sub>	Resultados Nmax * P <sub>vsc</sub>	Interpretação
Conteúdos	Revisão de conteúdos	A = existência de revisão de conteúdos (sim/não).	38,46%	0,20	7,692	$0 \leq X$ Quanto maior, melhor.
	Organização dos conteúdos	A = item de questionário com escala de classificação *	15,38%	0,20	3,076	Depende da estratégia pedagógica
	Organizadores avançados	A = existência de organizadores avançados (sim/não)	7,69%	0,10	0,769	$0 \leq X$ Quanto maior, melhor.
	Busca de conteúdos	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,15	1,153	Depende da estratégia pedagógica
	Divisão dos conteúdos	A = item de questionário com escala de classificação	15,38%	0,15	2,307	$0 \leq X$ Quanto maior, melhor.
	Apresentação de conteúdos	A = item de questionário com escala de classificação	69,23%	0,20	13,846	Depende da estratégia pedagógica
*Observação: Nmax = Muito bom						

Tabela 30: Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 4: Realimentação

Componentes educacionais	Características em uso	Variáveis	Medidas (Nmax)	Cálculo P <sub>psc</sub>	Resultados Nmax * P <sub>psc</sub>	Interpretação
Realimentação	Realimentação contextual	A = existência de realimentação contextual (sim/não)	15,38%	0,13	1,9994	Quanto maior, melhor. $0 \leq X$
	Realimentação de desempenho	A = existência de realimentação de desempenho (sim/não)	23,08%	0,12	2,7696	Quanto maior, melhor. $0 \leq X$
	Realimentação estendida	A = existência de realimentação estendida (sim/não)	15,38%	0,12	1,8456	Quanto maior, melhor. Depende da estratégia pedagógica
	Auto-avaliação do conhecimento prévio	A = item de questionário com escala de classificação	15,38%	0,10	1,538	Depende da estratégia pedagógica
	Auto-avaliação do conteúdo abordado	A = item de questionário com escala de classificação	61,54%	0,12	7,3848	Depende da estratégia pedagógica
	Direção corretiva	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,12	0,9228	Depende da estratégia pedagógica
	Avaliação complexa	A = item de questionário com escala de classificação	23,08%	0,15	3,462	Depende da estratégia pedagógica
	Mecanismos de avaliação do sistema	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,14	1,0766	Depende da estratégia pedagógica
*Observação:	Nmax = Muito bom					

Tabela 31: Cálculo métricas de qualidade em uso da dimensão 4 - Suporte à Aprendizagem

Compo- nentes educac- ionais	Sub- carac- terístic- as	Métricas de qualidade em uso	Variáveis	Medidas (Nmax)	Cálculo	Result- ados Nmax * Ppsc	Interpretação
Suporte à Aprendizagem	Interatividade	Acesso aos pares	A = num. de itens de acesso aos pares	7,69%	0,4	3,076	$0 \leq X$ Quanto maior, melhor.
		Aprendizagem experimental	A = item de questionário com escala de classificação	15,38%	0,6	9,228	Depende da estratégia pedagógica
	Orientação	Orientação no espaço navegacional	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,33	2,5377	Depende da estratégia pedagógica
		Orientação adicional	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,33	2,5377	Depende da estratégia pedagógica
		Orientação local	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,34	2,6146	Depende da estratégia pedagógica
		Utilidade	A = item de questionário com escala de classificação	15,38%	0,25	3,845	Depende da estratégia pedagógica
	Integração de mídias	Apoio a princípios pedagógicos	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,25	1,9225	Depende da estratégia pedagógica
		Combinação de formas	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,25	1,9225	Depende da estratégia pedagógica
		Coerência de mídias	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,25	1,9225	Depende da estratégia pedagógica
		Acesso a recursos	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,33	2,5377	Depende da estratégia pedagógica
Recursos	Atualização de ligações a recursos	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,33	2,5377	Depende da estratégia pedagógica	
	Aproximação do mundo real	A = item de questionário com escala de classificação	7,69%	0,34	2,6146	Depende da estratégia pedagógica	

Tabela 32: Métricas qualidade em uso da dim. 4 - Aspectos Psicológicos

Sub-características	Variáveis	Métricas (Nmax)	Cálculo Ppsc	Resultados Nmax * Ppsc	Interpretação
Ritmo de aprendizagem	A = Item de questionário com escala de classificação	15,38%	0,20	3,076	Depende da estratégia pedagógica
Motivação	A = Item de questionário com escala de classificação	23,08%	0,16	3,6928	Depende da estratégia pedagógica
Redução da ansiedade	A = Item de questionário com escala de classificação	23,08%	0,16	3,6928	Depende da estratégia pedagógica
Fadiga	A = Item de questionário com escala de classificação	23,08%	0,16	3,6928	Depende da estratégia pedagógica
Frustrações	A = Item de questionário com escala de classificação	30,77%	0,16	4,9232	Depende da estratégia pedagógica
Atenção	A = Item de questionário com escala de classificação	23,08%	0,16	3,6928	Depende da estratégia pedagógica

\*Observação: Nmax = Muito bom



## APÊNDICE C – RESULTADOS DA MEDIÇÃO DA SATISFAÇÃO DO USUÁRIO

Tabela 33: Reações gerais, Interface do Sistema

<b>1. Reações Gerais ao sistema</b>	Respostas (%)		Respostas (%)
<i>Você considera que o sistema é:</i>		<i>Em relação ao aprendizado, o sistema é:</i>	
Terrível	17,40	Domínio inadequado	28,09
Regular a bom	69,55	Regular a bom	56,51
Maravilhoso	13,05	Domínio adequado	15,40
<i>Em relação à interação, o sistema é:</i>		<i>Em relação ao manuseio, o sistema é:</i>	
Frustrante	51,18	Difícil	26,08
Regular a bom	34,77	Regular a bom	56,52
Excitante	14,05	Fácil	17,40
<i>Em relação ao uso geral, o sistema é:</i>			
Tedioso	34,78	Regular a bom	52,17
Estimulante	13,05		
<b>2. Interface do sistema</b>		Respostas (%)	
<i>Os caracteres da tela estavam:</i>		<i>A disposição da informação na tela é:</i>	
Difíceis de ler	26,74	Ilógica	35,09
Regular a bom	47,17	Regular a bom	13,73
Fáceis de ler	26,09	Lógica	51,18
<i>As imagens dos caracteres estavam:</i>		<i>A seqüência de telas é:</i>	
Esmacidas	21,74	Confusa	34,84
Regular a bom	56,52	Regular a bom	47,41
Definidas	21,74	Clara	17,75
<i>As formas dos caracteres (fontes) estão:</i>		<i>A próxima tela na seqüência é:</i>	
Illegíveis	22,34	Imprevisível	30,03
Regular a bom	47,23	Regular a bom	52,12
Legíveis	30,43	Previsível	17,85
<i>Os layouts de tela foram úteis?</i>		<i>O retorno à tela anterior é:</i>	
Nunca	26,09	Impossível	43,10
Regular a bom	43,48	Regular a bom	39,14
Sempre	30,43	Fácil	17,76
<i>A quantia de informação mostrada na tela é:</i>			
Inadequada	34,72	Regular a bom	39,13
Adequada	26,15		

Tabela 34: Aprendizagem e Capacidades do sistema

3. Aprendizagem do sistema		Respostas (%)	Respostas (%)	
<i>A aprendizagem para operar o sistema é:</i>		<i>A descoberta de novas características foram:</i>		
Difícil	30,44	Difícil	52,24	
Regular a bom	47,16	Regular a bom	30,44	
Fácil	22,40	Fácil	17,32	
<i>O tempo para aprender usar o sistema foi:</i>		<i>A exploração de características por tentativa e erro foi:</i>		
Lento	22,34	Desanimadora	56,17	
Regular a bom	56,46	Regular a bom	26,43	
Fácil	21,20	Fácil	17,40	
<b>4. Capacidades do sistema</b>		<b>Respostas (%)</b>		
<i>A velocidade do sistema foi:</i>		<i>A correção de erros é:</i>		
Demasiadamente lenta	21,78	Difícil	48,73	
Regular a boa	52,47	Regular a boa	34,22	
Bastante rápida	25,75	Fácil	17,05	
<i>O tempo de resposta para a maioria das operações foi:</i>		<i>Os sons gerados são:</i>		
Demasiadamente lento	22,15	Irritantes	30,44	
Regular a bom	52,47	Regular a bom	52,13	
Bastante rápido	25,38	Agradáveis	17,43	
<i>A duração do atraso entre as operações</i>		<i>O sistema tende a ser:</i>		
Inaceitável	13,05	Ruidoso	29,44	
Regular a boa	65,22	Regular a boa	52,51	
Aceitável	21,73	Silencioso	18,05	
<i>As falhas no sistema ocorrem:</i>		<i>A facilidade de operação depende do nível de experiência?</i>		
Frequentemente	21,14	Nunca	17,74	
Regular a bom	52,11	Regular a bom	47,48	
Raramente	26,75	Sempre	34,78	
		<i>O sistema emitiu mensagens de avisos?</i>		
Nunca	57,23	Regular a bom	29,72	
Sempre	13,05			

Tabela 35: Multimídia e Tarefas do sistema

5. Multimídia do Sistema		Respostas (%)	Respostas (%)
<i>O uso de animações foi:</i>			<i>A saída de sons estava:</i>
Inútil	35,44	Inaudível	26,09
Regular a bom	47,22	Regular a bom	42,08
Útil	17,34	Áudio	31,83
<i>A qualidade de ambas, imagens/fotos estava:</i>		<i>As cores utilizadas nas telas estavam:</i>	
Ruim	21,14	Antinaturais	17,72
Regular a bom	43,43	Regular a bom	47,84
Boa	35,43	Naturais	34,44
6. Tarefas do sistema			
		Respostas (%)	Respostas (%)
<i>As tarefas podem ser completadas?</i>		<i>As tarefas podem ser desenvolvidas de maneira direta?</i>	
Com dificuldade	15,05	Nunca	13,00
Regular a bom	56,52	Regular a bom	64,99
Facilmente	28,43	Sempre	22,01
<i>Os passos para completar uma tarefa seguiram uma seqüência lógica?</i>		<i>O tempo para desenvolvimento das tarefas foi:</i>	
Nunca	21,74	Inadequado	17,40
Regular a bom	52,17	Regular a bom	56,52
Sempre	26,09	Adequado	26,08
<i>O número de passos por tarefas foi:</i>		<i>A realização de uma operação conduziu a um resultado previsível?</i>	
Muito	13,05	Nunca	21,74
Regular a bom	65,21	Regular a bom	47,80
Pouco	21,74	Sempre	30,46



## APÊNDICE D – RESULTADOS DA MEDIÇÃO DA QUALIDADE EM USO

Tabela 37: Resultados dos suporte à aprendizagem: conteúdos

<b>Conteúdos</b>			
Respostas (%)		Respostas (%)	
<i>Revisão dos conteúdos</i>		<i>Organizadores avançados</i>	
Sim	38	Sim	8
Não	62	Não	92
<i>Organização dos conteúdos</i>		<i>Busca de conteúdos</i>	
Muito fraco	8	Muito fraco	15
Fraco	8	Fraco	54
Regular	31	Regular	15
Bom	38	Bom	8
Muito bom	15	Muito bom	8
<i>Divisão dos conteúdos</i>		<i>Apresentação de conteúdos</i>	
Muito fraco	8	Sim	69
Fraco	15	Não	23
Regular	15	Incerto	8
Bom	46		
Muito bom	15		

Tabela 38: Resultados dos suporte à aprendizagem: realimentação

<b>Realimentação</b>			
Respostas (%)		Respostas (%)	
<i>Realimentação contextual</i>		<i>Direção corretiva</i>	
Sim	15	Muito fraco	62
Não	85	Fraco	23
<i>Realimentação de desempenho</i>		<i>Avaliação complexa</i>	
Sim	23	Regular	8
Não	77	Bom	0
		Muito bom	8
<i>Realimentação estendida</i>		<i>Mecanismos de avaliação do sistema</i>	
Sim	15	Muito fraco	54
Não	85	Fraco	0
<i>Auto-avaliação do conhecimento prévio</i>		<i>Auto-avaliação do conteúdo abordado</i>	
Sim	15	Regular	38
Não	85	Bom	8
		Muito bom	0

Tabela 39: Resultados dos suporte à aprendizagem: interatividade

<b>Suporte à aprendizagem: interatividade</b>			
	Respostas (%)		Respostas (%)
<i>Interatividade</i>		<i>Aprendizagem Experimental</i>	
Muito fraco	8	Muito fraco	8
Fraco	38	Fraco	8
Regular	38	Regular	31
Bom	8	Bom	15
Muito bom	8	Muito bom	15
<i>Orientação</i>		<i>Orientação no espaço navegacional</i>	
Muito fraco	23	Muito fraco	15
Fraco	38	Fraco	38
Regular	15	Regular	23
Bom	15	Bom	15
Muito bom	8	Muito bom	8
<i>Orientação adicional</i>		<i>Orientação local</i>	
Muito fraco	0	Muito fraco	8
Fraco	54	Fraco	23
Regular	23	Regular	38
Bom	15	Bom	23
Muito bom	8	Muito bom	8
<i>Integração de mídias</i>		<i>Utilidade</i>	
Muito fraco	8	Muito fraco	8
Fraco	15	Fraco	23
Regular	46	Regular	23
Bom	23	Bom	31
Muito bom	8	Muito bom	15

Tabela 40: Resultados dos suporte à aprendizagem (recursos) e aspectos psicológicos

<b>Suporte à aprendizagem: recursos</b>			
	Respostas (%)		Respostas (%)
<i>Apoio a princípios pedagógicos</i>		<i>Recursos</i>	
Muito fraco	8	Muito fraco	8
Fraco	15	Fraco	15
Regular	31	Regular	46
Bom	38	Bom	23
Muito bom	8	Muito bom	8
<i>Coerência de mídias</i>		<i>Acesso a recursos</i>	
Muito fraco	8	Muito fraco	15
Fraco	15	Fraco	15
Regular	46	Regular	38
Bom	23	Bom	23
Muito bom	8	Muito bom	8
<i>Combinação de formas</i>		<i>Atualização de ligações a recursos</i>	
Muito fraco	8	Muito fraco	31
Fraco	15	Fraco	23
Regular	38	Regular	15
Bom	31	Bom	23
Muito bom	8	Muito bom	8
<i>Aproximação do mundo real</i>			
Muito fraco	15		
Fraco	23		
Regular	31		
Bom	23		
Muito bom	8		
<b>Aspectos psicológicos</b>			
	Respostas (%)		Respostas (%)
<i>Ritmo de aprendizagem</i>		<i>Fadiga</i>	
Muito pouco	8	Muito fraco	8
Pouco	8	Fraco	8
Regular	69	Regular	54
Bom	0	Bom	8
Muito bom	15	Muito bom	22
<i>Motivação</i>		<i>Frustrações</i>	
Muito fraco	8	Muita frustração	8
Fraco	8	Alguma frustração	2
Regular	54	Frustração média	31
Bom	8	Pouca frustração	31
Muito bom	22	Nenhuma frustração	28
<i>Redução da ansiedade</i>		<i>Atenção</i>	
Muito fraco	8	Muito fraco	8
Fraco	8	Fraco	8
Regular	54	Regular	54
Bom	8	Bom	8
Muito bom	22	Muito bom	22