

Repositórios de Objeto de Aprendizagem (ROA) também chamados de Repositórios Educacionais Abertos (REA) são plataformas apropriadas para o armazenamento de recursos educacionais assim como Objetos de Aprendizagem (OAs). Dessa forma, tais repositórios facilitam que os OAs possam ser encontrados e reutilizados. Porém, a grande variedade de ROAs e seus inúmeros recursos disponíveis, dificulta ao usuário encontrar um ROA que seja adequado em termos de Funcionalidade, Usabilidade, Confiabilidade e Compatibilidade, essas que são características importantes dentro da norma de qualidade de software no que se refere a questão de uso. Nesse sentido, este trabalho tem o objetivo de apresentar uma arquitetura para avaliação de ROAs utilizando métodos de tomada de decisão em Repositórios de Objetos de Aprendizagem que visem oferecer ao usuário as melhores alternativas de acordo com suas requisições e as variáveis levantadas para conceituar os ROAs.

Orientador: Dr. Adriano Fiorese

Joinville, 2020



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO
APLICADA-PPGCA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**UMA ARQUITETURA DE
AVALIAÇÃO DE REPOSITÓRIOS
DE OBJETOS DE APRENDIZAGEM**

ROSYMEIRE OLIVEIRA DA SILVA

Joinville, 2020

ANO
2020
ROSYMEIRE OLIVEIRA DA SILVA
| UMA ARQUITETURA DE AVALIAÇÃO DE REPOSITÓRIOS DE OBJETOS DE
APRENDIZAGEM

ROSYMEIRE OLIVEIRA DA SILVA

**UMA ARQUITETURA DE AVALIAÇÃO DE REPOSITÓRIOS DE
OBJETOS DE APRENDIZAGEM**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, para a obtenção do grau de Mestre em Computação Aplicada.

Orientador: Dr. Adriano Fiorese

JOINVILLE

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CCT/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Silva, Rosymeire Oliveira da
Uma Arquitetura de Avaliação de Repositórios de Objetos
de Aprendizagem / Rosymeire Oliveira da Silva. -- 2020.
144 p.

Orientador: Adriano Fiorese
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa
de Pós-Graduação em Computação Aplicada, Joinville, 2020.

1. Tomada de Decisão. 2. Repositórios de Objetos de
Aprendizagem. 3. Avaliação. I. Fiorese, Adriano . II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Computação Aplicada. III. Título.

Uma Arquitetura de Avaliação de Repositórios de Objetos de Aprendizagem

por

Rosymeire Oliveira da Silva

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

Mestra em Computação Aplicada

Área de concentração em “Ciência da Computação”,
e aprovada em sua forma final pelo

CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM COMPUTAÇÃO APLICADA
DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Adriano Fiorese
CCT/UDESC
(Orientador/Presidente)

Prof. Dr. Gilmario Barbosa dos
Santos
CCT/UDESC

Prof. Dr. Fernando Menezes Matos
UFPB

Joinville, SC, 25 de maio de 2020.

Dedico este trabalho a minha família por sempre estarem ao meu lado, as minhas amigas que sempre me deram forças e acreditaram em mim e ao meu orientador por todo apoio, confiança, paciência e conhecimento passado. Também dedico aos demais professores que de alguma forma contribuíram para mais essa etapa vencida na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar por todas as oportunidades e desafios que Ele colocou diante de mim e pelo fortalecimento nas horas mais difíceis.

Agradeço a minha família que sempre torceu por mim e está sempre ao meu lado, agradeço em especial a minha irmã Pâmela pelo companheirismo no inicio dessa jornada e ao meu avô Raimundo por todo seu incentivo. Também agradeço ao meu namorado Derli por todo seu apoio.

Agradeço aos meus amigos que tive que deixar na minha cidade natal, e mesmo assim estão sempre mantendo contato e demonstrando suas preocupações e carinho.

Agradeço ao meu orientado Prof. Dr. Adriano Fiorese, que sempre me orientou com muita dedicação e paciência e me auxiliou nas minhas maiores dificuldades. Também agradeço a professora Dra. Avanilde Kemczinsk por suas contribuições cruciais para o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço as novas amizades que conheci durante essa trajetória do mestrado, em especial a minha amiga Aline Moreira pelas longas horas que estudamos juntas e por seus bons conselhos que sempre me motivaram.

Agradeço a todos os professores que de alguma forma contribuíram para o bom desenvolvimento do trabalho. Por fim agradeço a Universidade do Estado de Santa Catarina pela oportunidade e o apoio financeiro da agência do governo federal CAPES.

“Se tu podes crer, tudo é possível ao que crer.”

Marcos: 9:23

RESUMO

Repositórios de Objeto de Aprendizagem (ROA) também chamados de Repositórios Educacionais Abertos (REA) são plataformas apropriadas para o armazenamento de recursos educacionais assim como Objetos de Aprendizagem (OAs). Dessa forma, tais repositórios facilitam que os OAs possam ser encontrados e reutilizados. Porém, a grande variedade de ROAs e seus inúmeros recursos disponíveis, dificulta ao usuário encontrar um ROA que seja adequado em termos de Funcionalidade, Usabilidade, Confiabilidade e Compatibilidade, essas que são características importantes dentro da norma de qualidade de *software* no que se refere a questão de uso. Nesse sentido, este trabalho tem o objetivo de apresentar uma arquitetura para avaliação de ROAs utilizando métodos de tomada de decisão em Repositórios de Objetos de Aprendizagem que visem oferecer ao usuário as melhores alternativas de acordo com suas requisições e as variáveis levantadas para conceituar os ROAs. Dentro da variedade de métodos multicritérios, foram escolhidos para este trabalho: Análise Envoltória de Dados, do inglês, *Data Envelopment Analysis* (DEA), que tem uma abordagem quantitativa e avalia a eficiência de unidades de tomada de decisões *Decision Making Unit* (DMU). Outro método utilizado foi o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) que realiza avaliação hierárquica nas unidades de decisão e tem uma abordagem tanto quantitativa como qualitativa. A partir desses dois, foi criado um método híbrido para avaliar hierarquicamente os ROAs e encontrar o mais eficiente. Por fim um método híbrido da literatura com AHP e lógica fuzzy foi escolhido e reproduzido para a comparação com os métodos criados nesse trabalho. Para concluir foram utilizadas as mesmas variáveis e requisições em cada método, sendo possível após vários testes, saber qual de todos esses métodos foi o mais eficaz e qual o ROA foi o mais eficiente dentro da arquitetura.

Palavras-chaves: Repositórios de Objetos de Aprendizagem, Métodos de Tomada de Decisão e Avaliação.

ABSTRACT

Learning Object Repositories (LOR) also use Open Educational Repositories (OER) are appropriate platforms for storing educational resources such as Learning Objects (LO). In this way, these repositories make it easier for OAs to be found and reused. However, with a wide variety of ROAs and their number of available resources, the user can hardly find an ROA that is adequate in terms of Functionality, Usability, Reliability and Compatibility, these important characteristics within the software quality standard with regard to a matter of use. In this sense, this work aims to present an architecture for evaluating ROAs using decision-making methods in Learning Object Repositories that aim to offer the user the best alternatives according to their requirements and the variables raised to conceptualize the ROAs. Among the variety of multi-criteria methods, the following were selected for this work: Data Envelopment Analysis, from English, DEA, which has a quantitative approach and assesses the efficiency of DMU decision-making units. Another method used was the AHP, which performs hierarchical assessments in decision units and has both a quantitative and qualitative approach. From these two, a hybrid method was created to hierarchically evaluate the ROAs and find the most efficient one. Finally, a hybrid method of literature with AHP and fuzzy logic was chosen and reproduced for comparison with the methods used in this work. To conclude, we use the following variables and requirements for each method, with several tests being possible, knowing which of the following methods is the most effective and which ROA was the most efficient within the architecture..

Key-words: Learning Object Repositories, Decision Making Methods and Evaluation

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo gráfico de fronteira de eficiência no modelo CRS e VRS	33
Figura 2 – Hierarquia AHP	35
Figura 3 – Arquitetura Proposta	54
Figura 4 – Interface	55
Figura 5 – Arquitetura de um método proposto utilizando DEA	57
Figura 6 – Arquitetura de um método proposto utilizando AHP	65
Figura 7 – Modelagem para o método proposto com AHP	65
Figura 8 – Comparação das alternativas em relação ao Indicador Usabilidade	67
Figura 9 – Arquitetura do AHP-DEA	71
Figura 10 – Relação dos indicadores com os ROAs para cada método	96
Figura 11 – Sobre o trabalho e o termo de consentimento	136
Figura 12 – Perfil do participante	137
Figura 13 – Perfil do participante	138
Figura 14 – Explicação dos critérios	139
Figura 15 – Questionário	140
Figura 16 – Questionário	141
Figura 17 – Questionário	142
Figura 18 – Questionário	143
Figura 19 – Mais informações	143
Figura 20 – Agradecimentos	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Norma ISO 25010	28
Tabela 2 – Matriz de eficiência cruzada	34
Tabela 3 – Escala de SAATY	36
Tabela 4 – Tabela de julgamento e comparação entre pares de critérios	37
Tabela 5 – Normalização dos valores dos critérios	38
Tabela 6 – Tabela de julgamento e comparação entre pares de Alternativas em relação ao Critério 1	38
Tabela 7 – Normalização dos valores das Alternativas em relação ao Critério 1	39
Tabela 8 – Comparação entre pares utilizando valores fuzzy	41
Tabela 9 – Cálculo do peso <i>fuzzy</i>	42
Tabela 10 – Resumo dos pesos <i>fuzzy</i> e real	44
Tabela 11 – Trabalhos Relacionados	51
Tabela 12 – Variáveis para Avaliação da Eficiência Relativa	59
Tabela 13 – Avaliação dos Especialistas	68
Tabela 14 – Média dos pesos dos especialistas	68
Tabela 15 – Matriz de julgamento com exemplo de uma requisição	70
Tabela 16 – Pesos para as alternativas do exemplo de requisição	70
Tabela 17 – Valores dos critérios disponíveis na base de dados	78
Tabela 18 – Requisições	80
Tabela 19 – Resultados utilizando o método DEA	84
Tabela 20 – Classificação para três requisições com o método AHP	97
Tabela 21 – Primeira Requisição com AHP-DEA	98
Tabela 22 – Segunda Requisição com AHP-DEA	98
Tabela 23 – Terceira Requisição com AHP-DEA	98
Tabela 24 – Resultados com abordagem da literatura MCEQLS	99
Tabela 25 – Relação das Alternativas e Requisições	100
Tabela A.26–Valores das variáveis de Entrada e Saída normalizados para o mé- todo DEA	112
Tabela B.1–Matriz de Julgamento para o atendimento de Formatos	115
Tabela B.2–Normalização da Matriz de Julgamento para o atendimento de For- matos	115
Tabela B.3–Dado para a primeira requisição e pontuação com AHP	116
Tabela B.4–Dados para a segunda requisição e pontuação com AHP	117
Tabela B.5–Dados para a terceira requisição e pontuação com AHP	118
Tabela C.1–Pontuação para a primeira requisição com AHP-DEA	120
Tabela C.2–Pontuação para a segunda requisição com AHP-DEA	121

Tabela C.3–Pontuação para a terceira requisição com AHP-DEA	122
Tabela C.4–Variáveis de entrada para a primeira Requisição com AHP-DEA	123
Tabela C.5–Variáveis de entrada para a segunda requisição com AHP-DEA	123
Tabela C.6–Variáveis de entrada para a terceira requisição com AHP-DEA	124
Tabela D.1–Avaliação dos Especialistas com números fuzzy triangulares	128
Tabela D.2–Média da matriz entre especialista	129
Tabela D.3–Dados para a primeira Requisição e pontuação com Método da literatura	130
Tabela D.4–Dados para a segunda Requisição e pontuação com método da literatura	131
Tabela D.5–Dados para a Terceira requisição e pontuação com método da literatura	132
Tabela E.1–Tabela com os ROAs candidatos	135

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHP *Analytic Hierarchy Process*

ANP *Analytical Network Process*

AVA Ambiente Virtual de Aprendizagem

CRS *Constant Returns of Scale*

DEA *Data Envelopment Analysis*

DEMATEL *Decision making trial and evaluation laboratory*

DMU *Decision Making Unit*

DW *Data Warehousing*

EAD Educação a Distância

ELECTRE *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*

LORI *Learning Object Review Instrument*

LTSC *Learning Technology Standards Committee*

LOM *Learning Object Metadata*

VRS *Variable Returns of Scale*

IEEE *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

ISO *International Organization for Standardization*

MCDA *Multicriteria Decision Analysis*

MCDM *Multiple Criteria Decision Making*

MCEQLS *MultiCriteria Evaluation of Quality of Learning Repositories*

OA Objetos de Aprendizagem

OLAP *Online Analytical Processing*

SIAD Sistema Integrado de Apoio a Decisão

SCORM *Sharable Content Object Reference Model*

ROA Repositórios de Objetos de Aprendizagem

PROMETHEE *Preference Ranking Organization Method Enriched Evaluation*

TOPSIS *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	19
1.2	OBJETIVOS	20
1.2.1	Geral	20
1.2.2	Específicos	21
1.3	METODOLOGIA	21
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	OBJETOS DE APRENDIZAGEM	23
2.2	REPOSITÓRIOS DE OBJETOS DE APRENDIZAGEM	25
2.3	AVALIAÇÃO DE SOFTWARE	26
2.3.1	Métricas de Avaliação de Software	26
2.4	MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO	27
2.4.1	Análise Envoltória de dados (DEA)	31
2.4.2	Avaliação Cruzada (Rankeamento)	33
2.4.3	Analytic Hierarchy Process (AHP)	34
2.4.4	Método AHP-Fuzzy	40
2.5	TRABALHOS RELACIONADOS	44
3	ARQUITETURA PROPOSTA	54
3.1	MÉTODOS DE SELEÇÃO	56
3.1.1	Avaliação de eficiência em ROAs com método DEA	56
3.1.1.1	<i>Convertendo E/S para o DEA</i>	57
3.1.1.2	<i>Variáveis de entrada (Critérios a minimizar)</i>	60
3.1.1.3	<i>Variáveis de saída (Critérios a maximizar)</i>	61
3.1.2	Avaliação com Processo de Análise Hierárquica (AHP)	63
3.1.2.1	<i>Requisições do usuário</i>	68
3.1.2.2	<i>Atendimento da requisição</i>	69
3.1.3	Avaliação com Método Híbrido AHP-DEA	70
3.1.3.1	<i>Variável de entrada (Critérios a minimizar)</i>	71
3.1.3.2	<i>Variável de saída (Critérios a maximizar)</i>	72
3.1.4	Avaliação com Método da literatura MCEQLS com AHP-FUZZY	72
3.1.4.1	<i>Identificação dos critérios</i>	72
3.1.4.2	<i>Obtenção dos pesos dos critérios com AHP-Fuzzy</i>	73

3.1.4.3	<i>Classificação final</i>	74
3.2	CONSIDERAÇÕES PARCIAIS	75
4	ANALISE EXPERIMENTAL E RESULTADOS	77
4.1	BASE DE DADOS	77
4.2	REQUISIÇÃO DO USUÁRIO	80
4.3	AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL COM DEA	81
4.4	AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL COM AHP	86
4.5	AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL COM AHP-DEA	88
4.6	AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL COM MCEQLS	89
4.7	ANÁLISE DOS MÉTODOS E RESULTADOS	91
4.7.1	Análise método DEA	92
4.7.2	Análise método AHP	93
4.7.3	Análise método AHP-DEA	93
4.7.4	Análise método da literatura	94
4.7.5	Outras Análises	95
5	CONCLUSÃO	101
REFERÊNCIAS		105
APÊNDICE A – DADOS UTILIZADOS PARA O DEA		111
APÊNDICE B – DADOS UTILIZADOS PARA O MÉTODO AHP		114
APÊNDICE C – DADOS UTILIZADOS PARA O AHP-DEA		120
APÊNDICE D – DADOS UTILIZADOS PARA O MCEQLS		125
APÊNDICE E – ROAS CANDIDATOS		134
APÊNDICE F – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA OS ESPECIALISTAS		136

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento do *e-learning*, a busca por recursos educacionais digitais por parte dos usuários, sejam professores, *designs* instrucionais ou alunos, tem se tornado necessária para o processo de diversificação de estratégias de aprendizado, assumindo papel relevante perante as novas tecnologias de ensino/aprendizagem e justificando assim o seu sustentado crescimento. Dessa forma, é importante que esses recursos estejam armazenados em espaços apropriados e que facilitem a busca e seleção para reutilização em variados ambientes de aprendizagem. Para isso repositórios de objetos de aprendizagem (ROAs) desempenham um papel fundamental porque possibilita a organização dos recursos de aprendizagem de forma a facilitar a busca e sua reutilização.

A importância desses recursos em um contexto educacional é notável, especialmente devido ao considerável número de Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) existente na *Web* como: Adaptweb (GASPARINI et al., 2009), TelEduc[®]¹, Moodle (MELO et al., 2013), Solar (ARAÚJO et al., 2017), entre outros. Embora não seja exclusividade para tal, esse número considerável de AVAs notabiliza-se pela necessidade de prover ensino e aprendizagem principalmente para Educação a Distância (EAD). Recursos para serem utilizados nesses ambientes necessitam ter características pedagógicas, técnicas, que sejam adequadas e eficientes para o ensino e aprendizagem e que sejam de fácil instalação.

Tais recursos são conhecidos como Objetos de Aprendizagem (OA), que são elementos (materiais, instrumentos, conteúdo, etc.) apropriados para o ensino e aprendizagem, e que podem ser produzidos e utilizados em formato digital ou não, segundo a *Learning Technology Standards Committee* (LTSC) da *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) (COMMITTEE et al., 2002). Particularmente, neste trabalho assume-se somente objetos de aprendizagem digitais cujos mais variados formatos ficam disponíveis na *Web* para serem aproveitados.

Sendo assim, Re却tórios de Objetos de Aprendizagem (ROA) são plataformas na *Web* onde ficam armazenados quantidade finita de Objetos de Aprendizagem (OA) com variados formatos e que ficam disponíveis para serem reutilizados. Os Objetos de Aprendizagem (OA) podem ser vistos como componentes ou unidades, catalogados e disponibilizados. Assim, podem ser utilizados em diversos contextos de aprendizagem, de acordo com o projeto instrucional.

¹ TELEDUC. UNICAMP. 1997. Accesso: 25 de Fevereiro 2020. Disponível em: <<https://www.nied.unicamp.br/projeto/teleduc/>>.

Por sua vez os ROAs são responsáveis por agilizar processos na seleção de recursos, principalmente através de seus mecanismos de busca. Porém, ainda é difícil para o usuário conseguir encontrar de forma adequada e em tempo aceitável, ROAs que possam atende-lo de forma eficiente, uma vez que há grande quantidade de recursos armazenados nessas plataformas, exigindo do usuário grande habilidade de comparação manual, disposição e tempo.

Atualmente, especificamente as plataformas de ROAs são exploradas por métodos de recomendação para disponibilização de indicações para os usuários. Os métodos de apoio à tomada de decisão ainda são pouco explorados nesse contexto (GORDILLO; BARRA; QUEMADA, 2017), embora apresentem resultados relevantes para área de software educacional (ZARE et al., 2016). O resultado da utilização dos métodos de apoio a tomada de decisão pode fornecer ao usuário indicações apropriadas e balizadas a respeito de quais ROAs tem melhores condições de fornecer os OAs que melhor se enquadrem às suas necessidades, entre outras características de eficiência, como usabilidade (IEIRI; BRAGA, 2016), por exemplo.

Tendo em vista a necessidade de utilizar o mais preparado ROA, de acordo com seus recursos, completude e qualidade (ABDELBASSET et al., 2015), apoiado por sistemas/métodos de apoio a tomada de decisão, pode-se dizer que estamos diante da oportunidade de apresentar uma contribuição na solução do problema da seleção, dentre um conjunto de ROAs, daquele ou daqueles mais adequados ao usuário final.

Assim, a contribuição advém da avaliação das diversas alternativas possíveis em termos dos ROAs disponíveis. A avaliação depende das circunstâncias e adequações aos cenários de utilização dos ROAs. Nesse sentido, pode-se avaliar plataformas como os ROAS, em termos de sua eficiência, escalabilidade, facilidade de uso, de acordo com características padronizadas ou normatizadas, entre diversas outras possibilidades de avaliação. Naturalmente, uma vez que a avaliação é utilizada para realizar comparações entre alternativas, independentemente do tipo de avaliação sendo realizada, as características ou critérios utilizados devem ser os mesmos de forma a evitar viés de avaliação.

Portanto, uma abordagem multicritério de avaliação torna-se adequada nesse sentido, de forma a abranger as características influentes baseadas em normas para qualidade de uso de software em relação ao usuários e de acordo com suas necessidades. Uma maneira de disponibilizar tal possibilidade de avaliações é a construção e utilização de uma arquitetura de avaliação, onde, uma vez instanciada, seja possível utilizar diversas formas de avaliações disponibilizando perspectivas de seleção de ROAs conforme a aplicação desejada. Sendo assim, nessa arquitetura, os métodos de apoio a tomada de decisão são adequados, e portanto, utilizados em uma abor-

dagem multicritério como contribuição à solução do problema de seleção de ROAs e avaliação da sua qualidade.

A opção pelos métodos de apoio a tomada de decisão encontra respaldo no fato de que todos os dias decisões precisam ser tomadas, e nem sempre é possível "manualmente", encontrar a melhor solução, ou tomar a melhor decisão devido as inúmeras opções que são colocadas diante do indivíduo para resolver determinado problema. Tanto isso é notório que estudos recentes têm aplicado os métodos multicritério de tomada de decisão *Multicriteria Decision Analysis* (MCDA), inclusive na área da educação (RIBEIRO; FREITAG; SELLITTO, 2018), avaliação de software (PASCHALIDOU; STIAKAKIS; CHATZIGEORGIOU, 2013), no aprendizado *e-learning* (ZARE et al., 2016), seleção de OAs (İNCE; YİĞİT; İŞIK, 2019) entre outras. Podem ser citadas também como exemplo, a aplicação desses métodos em muitas outras áreas de conhecimento como *e-commerce* (Yang; Shi, 2016), avaliação e seleção de provedores de nuvens (MORAES; FIORESE; MATOS, 2017), utilização de ambientes virtuais de aprendizagem (SILVA, 2018), etc.

Já no contexto educacional, foram realizadas pesquisas como por exemplo para avaliar a eficiência de programas de ensino públicos em escolas utilizando a abordagem de análise envoltória de dados, do inglês *Data Envelopment Analysis* (DEA) (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Além desse, há outros métodos que podem ser utilizados para avaliar a eficiência e ajudar o usuário a tomar decisão, diante de múltiplas alternativas.

Pensando nisso, este trabalho apresenta uma arquitetura de avaliação para ROAs baseada em métodos multicritério de tomada de decisão. Esta arquitetura pressupõe a utilização de um conjunto de critérios adequados e encontrados nos diversos ROAs candidatos a seleção. Os critérios devem estar de alguma forma descritos em normas padronizadoras de avaliação de entidades de software uma vez que ROAs são por sua vez softwares especializados para a disponibilização de OAs, como já mencionado. Tal arquitetura inicialmente disponibiliza dois métodos de avaliação derivados e modelados a partir de métodos de tomada de decisão clássicos e aplicáveis (de acordo com o problema a ser resolvido) a uma grande variedade de aplicações.

Os métodos propostos juntamente com a arquitetura de avaliação, fazem uso de análises quantitativa e qualitativa. O método baseado na análise envoltória de dados (DEA), avaliará e ranqueará os ROAs mais eficientes em termos relativos, em razão de requisições (necessidades) hipotéticas do usuário, de forma a auxiliar a decisão desse usuário na escolha/seleção daquele que melhor se adequar ao solicitado. O segundo método proposto baseia-se na avaliação hierárquica analítica, ou processo de avaliação hierárquica, do inglês - *Analytic Hierarchy Process* (AHP), que realizará uma abordagem de julgamento baseado na relação hierárquica entre os indicadores

elencados e as alternativas (ROAs) para a seleção das mais adequadas. Ainda, com o método AHP-DEA, que será uma extensão do método proposto que utiliza AHP, não somente será possível classificar as alternativas em relação aos critérios indicadores como também será possível verificar a eficiência de cada alternativa. Por fim, um método de seleção de ROAs da literatura que utiliza o AHP-Fuzzy será reproduzido e empregado para avaliar a qualidade de uso dos ROAs e comparar seus resultados com os demais métodos. É importante ressaltar que para todos os métodos propostos foram levantados indicadores e seus respectivos critérios em ROAs reais, de forma a serem utilizados na modelagem e execução dos referidos métodos.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A seleção de Repositórios de Objetos de Aprendizagem enfrenta diversas dificuldades dado o crescimento diário de recursos de aprendizagem (OA) e necessitam ser disponibilizados aos usuários finais (CECHINEL et al., 2016). Além disso, a própria falta de padronização dos ROAs, bem como dos indicadores que os representariam de maneira mais adequada, dificulta ao usuário de OAs, sua seleção. Ainda, o design tradicional, embora útil para a recuperação direta de Objetos de Aprendizagem, apresenta várias deficiências quando usado em sistemas *e-learning* (OCHOA; CARRILLO; CECHINEL, 2014).

São importantes indicadores, critérios ou características para seleção e avaliação de ROAs com qualidade. Esses indicadores transformam-se em métricas que podem ser pontuadas com a finalidade de classificar o melhor *software* educacional, dentro de uma visão externa do sistema avaliado pelo usuário e uma visão interna observada por quem irá desenvolver (BAŞARAN, 2016).

Abordagens baseadas em análises qualitativas em plataformas como ROAs são muito úteis e fazem uso desse conjunto, sejam de Indicadores/ Critérios ou Características para defini-los. Em alguns trabalhos o foco gira em torno de apenas um Indicador, para analisar a performance dos ROAs, como é o caso da Usabilidade, que já foi usada para avaliar se os ROAs adotam uma interface intuitiva e fácil de usar (IEIRI; BRAGA, 2016), sendo isso um fator importante para que o usuário tenha interesse em utilizar o ROA.

A Funcionalidade é outro indicador importante, que contribui para o usuário no armazenamento e recuperação de objetos de aprendizagem, além de fornecer o gerenciamento dos recursos através de uma conta particular, com isso determina um nível de influencia maior e melhor de um ROA (ZERVAS; ALIFRAGKIS; SAMPSON, 2014).

Além desses indicadores, são consideráveis Compatibilidade e a Portabili-

dade, o primeiro em relação a variedades de recursos e formatos de OAs disponíveis nos ROAs, para atenderem aos diversos sistemas operacionais. O segundo está relacionado para obter maior interoperabilidade em ambientes virtuais de aprendizagem (AVAs), pois problemas de interoperabilidade geralmente deixam os ROAs mais complexos (OCHOA; CARRILLO; CECHINEL, 2014).

A Confiabilidade também é um indicador importante para avaliar a qualidade dos repositórios e o impacto no mercado educacional ao serem reutilizados. Para que isso seja possível, entre outras coisas, é necessário que os ROAs procurem garantir todas as descrições preenchidas dos metadados dos recursos (BAŞARAN, 2016), bem como que os mesmos não apresentem defeitos técnicos ou problemas no conteúdo pedagógico (BRAGA, 2015). Isso proporciona ao ROA mais segurança, principalmente garantindo que o metadado que contém as informações sobre a autoria do OA, sem permitir que as mesmas possam ser alteradas.

Na perspectiva de avaliação de *software* da *International Organization for Standardization* (ISO), todas essas características apresentadas acima, como funcionalidade, usabilidade, eficiência, compatibilidade, portabilidade, segurança e confiabilidade, contribuem para a qualidade de *software* (STANDARDIZATION, 2016). E no contexto dos ROAs, tais indicadores podem balizar análises que revelem contribuições na busca pela solução do problema de seleção do mais adequado ROA às necessidades do usuário de OAs.

Assim, este trabalho busca propor uma arquitetura de avaliação de ROAs com vistas a disponibilizar arcabouço computacional para a seleção do mais adequado ROA, por meio de uma abordagem interdisciplinar envolvendo os indicadores mencionados como elementos para as propostas de métodos de avaliação de ROAs baseados em métodos de auxílio à tomada de decisão, disponibilizados pela arquitetura proposta.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.2.1 Geral

A criação de uma arquitetura de avaliação de ROAs, que disponibilize métodos que auxiliem o usuário na tomada de decisão ao selecionar repositórios de objetos de aprendizagem de acordo com suas preferências ou necessidades.

1.2.2 Específicos

- Levantamento de ROAs abertos e acessíveis através de uma avaliação manual em cada um deles;
- Definição de indicadores e critérios apropriados para avaliação de ROAs e sua aplicação em métodos multicritério para tomada de decisão;
- Coleta/obtenção de valores para os indicadores definidos;
- Propor e criar uma arquitetura e seus métodos de avaliação baseados nos indicadores e critérios levantados;
- Executar experimentos com a arquitetura/métodos desenvolvidos utilizando os valores de cada indicador coletados dentro dos ROAs disponíveis e candidatos à seleção/rankeamento, de acordo com as requisições dos usuários;
- Avaliar os resultados dos experimentos realizados comparando-os com os resultados obtidos com um método da literatura de forma a validar a arquitetura/métodos propostos.

1.3 METODOLOGIA

Tendo em vista o tema e seu contexto, esta pesquisa está classificada como exploratória, pois tem como objetivo o aprimoramento de ideias ou as descobertas de novas hipóteses. Ela baseia-se em outras pesquisas exploratórias como fontes primárias e secundárias, de forma a aproximar o leitor deixando-o familiarizado com o tema de pesquisa (WAZLAWICK, 2014). Segundo MARKONI e LAKATOS (1991) o estágio exploratório está inserido no nível de investigação, que engloba além da investigação também a comprovação do tema ou proposta realizada.

Dessa forma a pesquisa também pode ser considerada de estudo de caso, pois serão propostos e aplicados métodos envolvendo a simulação de usuários finais por meio de requisições hipotéticas representando suas necessidades. Dessa forma, espera-se que com diferentes requisições, a análise e avaliação dos resultados demonstre a eficácia da arquitetura e métodos propostos. A abordagem do trabalho será quantitativa e qualitativa, utilizando métricas e variáveis que são mensuráveis, para fornecer ao usuário final qual é o ROA mais adequado à sua demanda (MARKONI; LAKATOS, 1991).

Tendo estabelecido os marcos metodológicos para a pesquisa, é importante ressaltar que seu resultado visa apoiar a tomada de decisão do usuário, atuando, nesse sentido, de maneira apenas recomendatória, jamais impositiva.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, detalhando os principais conceitos utilizados e necessários para a compreensão da pesquisa realizada, como por exemplo: objetos de aprendizagem, repositórios de objetos de aprendizagem, métodos multicritério de apoio a decisão, indicadores e métricas utilizados, bem como a norma ISO 25010 voltada à avaliação de qualidade de software, e também os trabalhos relacionados ao desenvolvido nesta pesquisa. No Capítulo 3 detalha-se a arquitetura proposta para a avaliação de ROAs, bem como os métodos desenvolvidos para este propósito. O Capítulo 4 apresenta experimentos realizados e a análise dos resultados. O Capítulo 5 apresenta as considerações finais bem como o potencial de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são apresentados os principais conceitos necessários para a compreensão da abordagem proposta. Primeiramente são apresentados os conceitos de Objeto de Aprendizagem e na sequência os de Repositórios de Objetos de Aprendizagem. Em seguida a seção com avaliação de *software*, apresentando as principais métricas da norma de qualidade da ISO. Também são apresentados aspectos relacionados aos métodos multicritério de apoio a tomada de decisão mais utilizados e os que serão aplicados neste trabalho. E finalmente a última seção está os trabalhos relacionados apresentando os indicadores, critérios e características empregando os métodos multicritérios.

2.1 OBJETOS DE APRENDIZAGEM

O conceito de “objetos de aprendizagem” surgiu no final dos anos 1990, mas sua utilização continua significativa principalmente com a expansão da educação a distância e o avanço dos recursos tecnológicos (CARNEIRO; SILVEIRA, 2014) .

Uma das definições para objetos de aprendizagem é a da IEEE (COMMITTEE et al., 2002), que define Objetos de Aprendizagens (OAs) como qualquer entidade, digital ou não digital, que pode ser usada, reutilizada ou referenciada durante o aprendizado. Contudo, com o avanço dos sistemas de informação, os recursos digitais tem sido muito relevantes para tornar o ensino mais eficiente, e praticamente utilizados como sinônimo para objetos de aprendizagem. Para Kemczinski et al. (2011), Objetos de Aprendizagens (OAs) são eficientes para os problemas que dizem respeito à redução de custo no desenvolvimento de conteúdos educacionais para a web, devido à sua capacidade de reutilização, ou seja, quando os Objetos de Aprendizagem (OA) são disponibilizado nos Repositórios de Objetos de Aprendizagem (ROA), outras pessoas podem reutilizá-los para outro contexto de ensino ou propósito educacional.

Dessa forma, pode-se dizer que quaisquer materiais instrucionais digitais utilizados para o ensino têm sido classificados como Objetos de Aprendizagem (OA), e podem auxiliar o professor a criar novas estratégias pedagógicas que favoreçam o aprendizado do aluno (BRAGA, 2015). Objetos de aprendizagem podem ser de vários formatos como: vídeo, áudio, animação, hipertextos, objetos gráficos com ou sem som, e muitos outros.

Como já explicitado em Kemczinski et al. (2011), os objetos de aprendizagem devem possuir outra característica importante que é a de ser reutilizável em diferentes contextos. Conforme Braga et al. (2012), a reusabilidade de um OA está associada

a sua granularidade, ou seja, está relacionada a menor porção do objeto com todas as informações essenciais de um tema. Assim, um OA deve ser compacto, mas deve conter uma quantidade suficiente de conhecimento para que o aprendizado seja relevante. Kemczinski et al. (2011) afirma que um OA serve para o apoio didático e faz uma analogia de um OA com peças LEGO®¹.

As propriedades que distinguem os objetos de aprendizagem de outras formas de softwares educacionais são: acessibilidade global, padrões de metadados, maior granularidade e reusabilidade (NESBIT; BELFER; VARGO, 2002). Para analisar esses tipos de critérios apresentados, existem instrumentos específicos que avaliam Objetos de Aprendizagens (OAs). Por exemplo, o instrumento para a avaliação da qualidade de objetos de aprendizagem da PUC-Rio, é um instrumento nacional que possui critérios que podem ser avaliados tanto pelo professor como pelo aluno (CAMPOS; MARTINS; NUNES, 2008). Esse instrumento avalia requisitos de áudio, vídeo e software, através de um questionário, que utiliza métricas valoradas em uma escala numérica que varia de 0 a 0,75, em intervalos de 0,25 correspondendo aos níveis de insatisfatório, razoável, satisfatório e excelente. O avaliador também pode colocar sua sugestão de melhoria ou razão para uma pontuação baixa de forma a ajustar e melhorar os recursos.

Outro instrumento conhecido é o *Learning Object Review Instrument* (LORI) (NESBIT; BELFER; LEACOCK, 2003) que analisa objetos de aprendizagem levando em consideração aspectos pedagógicos e o objetivo dos Objetos de Aprendizagem (OA). Com a finalidade de ajudar os usuários a selecionar a qualidade e a adequação de objetos de aprendizagem, esse instrumento avalia 8 aspectos do OA: 1) Qualidade de Conteúdo; 2) Alinhamento de Objetivos de Aprendizagem; 3) Feedback e Adaptação; 4) Motivação; 5) Design de Apresentação; 6) Interação Usabilidade; 7) Acessibilidade e 8) Conformidade de padrões. Cada um desses aspectos são classificados em uma escala de 1 a 5 e não aplicável, se o revisor não se sentir qualificado para julgar alguns dos critérios. O Lori possui a vantagem de facilitar a comparação entre objetos, fornecendo um formato de revisão comum.

O instrumento para a avaliação da qualidade de objetos de aprendizagem da PUC-Rio (CAMPOS; MARTINS; NUNES, 2008) e o *Learning Object Review Instrument* (LORI) (NESBIT; BELFER; LEACOCK, 2003), são ambos instrumentos com critérios definidos e escala de pontuação para avaliar a qualidade dos objetos de aprendizagem, considerando seus aspectos pedagógicos e tecnológicos.

Esse trabalho não tem o objetivo de criar um novo instrumento de avaliação de OA, mas sim uma arquitetura de avaliação de ROAs com vista à seleção do mais

¹ THE LEGO GROUP. **The Lego Group**. 1932. Accesso: 20 junho 2019. Disponível em: <<https://www.lego.com/en-us/aboutus/lego-group>>.

adequado de acordo com as necessidades do usuário, usando diferentes métodos.

2.2 REPOSITÓRIOS DE OBJETOS DE APRENDIZAGEM

Repositórios de objetos de aprendizagem são espaços que permitem o armazenamento, pesquisa e a reutilização de objetos de aprendizagem (TAROUCO et al., 2014). Sua importância caracteriza-se pelo fato de armazenar e portanto disponibilizar vários recursos educacionais que facilitam o ensino e motivam o aprendizado.

Braga (2015) determina que um ROA deve permitir: I. O depósito de conteúdo pelo criador, proprietário ou por um terceiro; II. Possuir arquitetura capaz de administrar conteúdos e metadados; III. Oferecer serviços para colocar, retirar e buscar recursos, além de serviços de controle de acesso aos mesmos; IV. Ser confiável, bem suportado e bem administrado. Segundo Kurilovas (2013), autoridades e/ou empresas em muitos países lançaram repositórios de objetos de aprendizagem baseados na Web a fim de tornar mais fácil para os professores e estudantes encontrarem os melhores OAs relevantes.

Além dos requisitos acima, Repositórios de Objetos de Aprendizagem (ROA) podem ter outras propriedades que conforme McGreal (2008) são: a) público-alvo: se o repositório está focado em um nível educacional específico ou não; b) Granularidade dos materiais: se os materiais apresentam-se na forma de componentes, cursos, lições, etc.; c) Recursos: Tamanho do repositório em termos do número de recursos armazenados; d) Tipo dos materiais: se existe um tipo predominante de OA (ex.: applets, vídeos, livros digitais etc.), ou se os materiais estão em formatos variados; e e) Tipo do metadado utilizado como: Dublin Core Metadata (WEIBEL et al., 1998), IEEE-Learning Object Metadata (LOM) (COMMITTEE et al., 2002), CanCore (FRIESEN; ROBERTS; FISHER, 2002) e o Sharable Content Object Reference Model (SCORM) (RUSTICI SOFTWARE, 2019).

Geralmente ROAs são mantidos por entidades governamentais, o que faz com que a segurança e a persistência do seu link sejam adequadas ao seu reúso. Por outro lado, para encontrar objetos de aprendizagem, é necessário acessar (entrar) no repositório em que ele foi armazenado, pois os mecanismos de buscas externos, como, por exemplo, o Google, não os indexa (BRAGA, 2015).

Outros atores interessados em ROAs do setor educacional são as próprias instituições de ensino (escolas, universidades, etc.), autoridades educativas (ministérios de educação, regionais e outras agências, etc.) e decisões políticas; bem como fornecedores do software educacional (editores de OAs, produtores de ROAss, etc.) (KURILOVAS, 2013).

Avaliar a qualidade dos ROAs deve ser encarada como algo importante, por-

que é umas das principais partes de um sistema de aprendizagem *e-learning*. Isso se deve por que a qualidade do ROA gera impacto sobre a qualidade geral dos serviços de aprendizagem. Portanto, avaliar tanto as características externas e internas de tais sistemas é fundamental.

Algumas ferramentas utilizadas para avaliação de ROAs são citadas no trabalho de Kurilovas (2013). São elas: a *Software Repository Evaluation Criteria and Dissemination* desenvolvido pelo *Open Middleware Infrastructure Institute* (OMII) e apresentado no trabalho de Newhouse (2005). Outras ferramentas, por exemplo, é o Catalyst IT utilizado para avaliação do código fonte aberto de ROA e o *MultiCriteria Evaluation of Quality of Learning Repositories* (MCEQLS) que é uma abordagem para avaliação da qualidade do software de aprendizagem, baseada em métodos multicritérios (KURILOVAS, 2013)

Este último (MCEQLS) trata-se de uma ferramenta que utiliza métodos multicritério para tomada de decisão. O conceito de métodos multicritério para tomada de decisão (MCDM) será explicado na próxima seção, e mais trabalhos que envolvam MCDM, serão apresentados na seção de trabalhos relacionados, uma vez que o foco desse trabalho encontra-se voltado para a avaliação de ROAs, baseado na abordagem MCDM.

2.3 AVALIAÇÃO DE SOFTWARE

Independentemente do tipo de software utilizado, espera-se que ele disponibilize o serviço que foi programado para fazer. Com Repositórios de Objetos de Aprendizagens (ROAs) não é diferente. Uma das formas de se alcançar maior confiança na utilização do software é através da sua avaliação. Para tanto, o processo de avaliação, bem como o quê naquele processo se está avaliando é de suma importância. Geralmente, os processos de avaliação são baseados em métricas mensuráveis a respeito de características específicas. Muitas vezes essas métricas, o que elas representam e os estados alcançáveis por elas, são normatizados de forma que a sua utilização proporcione formas de comparações entre softwares que desempenham os mesmos ou similares papéis, indicando maior ou menor adequação ou confiança.

Nesse sentido, também para ROAs tais características/métricas devem ser elencadas, preferencialmente com suporte em mecanismo de normatização/padrãoização.

2.3.1 Métricas de Avaliação de Software

As métricas utilizadas neste trabalho foram baseadas em indicadores da norma ISO originalmente conhecida por Normas ISO/IEC 9126 (STANDARDIZATION, 2016).

Essa norma foi escolhida por que fornece uma estrutura para que organizações definam um modelo de qualidade para um *software* específico. No entanto, cada organização tem a tarefa de especificar o seu próprio modelo de avaliação de software (KURILOVAS, 2013). Atualmente, a norma passou de ISO/IEC 9126 para a ISO/IEC 25010. Ela trata de métricas externas e internas (indicadores internos de qualidade) do produto de software, dado que medindo e controlando essas propriedades internas, seu comportamento externo pode ser melhorado (GLADCHEFF, 2001). Ao criar seu próprio modelo, as organizações podem especificar suas metas e métricas. As métricas podem ser: Internas: Quando não depende da execução do sistema; Métricas externas: Depende da execução do sistema; Métricas de qualidade de uso: Quando o produto final é usado sob condições.

A norma ISO/IEC 9126-1:2001(E) baseia-se em um modelo, que é organizado em torno de três tipos de características de qualidade: Fatores (para especificar): descrevem a visão externa do software, de acordo com a visão dos usuários; Critérios (para construir): descrevem a visão interna do software, como visto por desenvolvedores; Métricas de controle: Elas são definidas e usadas para fornecer uma escala e método para medição (KURILOVAS, 2013).

Além disso, a referida norma tem como finalidade avaliar a qualidade de *software* com 8 indicadores e 31 sub-indicadores (STANDARDIZATION, 2016) atrelados, como demonstrado na Tabela 1. Esses indicadores servem para avaliar o *software* de forma qualitativa e quantitativa. Essa é a razão para a atribuição de critérios ou variáveis que podem ser quantificados e que estejam de acordo com os indicadores/-métricas estabelecidos pela referida norma ISO 25010. Definir as critérios/variáveis é crucial e seus valores são essenciais na utilização em métodos multicritério de tomada de decisão.

No caso particular deste trabalho, para atribuir valores para essas métricas foram feitas inspeções nos ROAs objetivando coletar valores para os critérios que compõem cada métrica, e que se adequassem à norma. Assim, a soma de todos os valores desses critérios resultam no valor de cada indicador métrica. Vale ressaltar que foram utilizados os indicadores de Usabilidade, Funcionalidade, Confiabilidade e Compatibilidade neste trabalho. Os demais Indicadores da norma não foram utilizados, pela complexidade de atribuir critérios e características que possam atribuir valores relacionados aos ROAs.

2.4 MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO

Métodos Multicritério de Apoio a Tomada de Decisão, do inglês *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) são amplamente utilizados e podem ser aplicados em

Tabela 1 – Norma ISO 25010

indicador	Sub-indicador
1. Funcionalidade: Essa característica representa o grau em que um produto ou sistema fornece funções que atendem às necessidades declaradas e implícitas quando usadas sob condições especificadas;	<ul style="list-style-type: none"> • Conclusão funcional, • Correção funcional, • Adequação funcional
2. Eficiência: Essa característica representa o desempenho em relação à quantidade de recursos usados nas condições declaradas;	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamento temporal • Utilização de recursos • Capacidade
3. Compatibilidade: Grau para o qual um produto, sistema ou componente pode trocar informações com outros produtos, sistemas ou componentes e / ou executar suas funções necessárias, enquanto compartilham o mesmo ambiente de hardware ou software;	<ul style="list-style-type: none"> • Coexistência • Interoperabilidade
4. Confiabilidade: Grau para o qual um sistema, produto ou componente executa funções especificadas sob condições especificadas por um período de tempo especificado;	<ul style="list-style-type: none"> • Maturidade • Disponibilidade • Tolerância a falhas • Recuperabilidade
5. Usabilidade: Grau para o qual um produto ou sistema pode ser usado por usuários específicos para atingir metas especificadas com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso;	<ul style="list-style-type: none"> • Reconhecimento de adequação • Aprendizagem • Operabilidade • Proteção contra erros do usuário. • Estética da interface do usuário • Acessibilidade
6. Segurança: grau em que um produto ou sistema protege as informações e os dados para que as pessoas ou outros produtos ou sistemas tenham o grau de acesso aos dados adequado aos seus tipos e níveis de autorização;	<ul style="list-style-type: none"> • Confidencialidade • Integridade • Não repúdio • Responsabilização • Autenticidade
7. Manutenção: Essa característica representa o grau de eficácia e eficiência com o qual um produto ou sistema pode ser modificado para melhorá-lo, corrigi-lo ou adaptá-lo a mudanças no ambiente e nos requisitos;	<ul style="list-style-type: none"> • Modularidade • Reutilização • Analisabilidade • Modificabilidade • Testabilidade
8. Portabilidade: Grau de eficácia e eficiência com o qual um sistema, produto ou componente pode ser transferido de um hardware, software ou outro ambiente operacional ou de uso para outro;	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptabilidade • Instalabilidade • Substituibilidade

Fonte:Adaptado da norma ISO (STANDARDIZATION, 2016)

quase todas as áreas. De maneira geral, os MDCM são concebidos em três fases básicas: i. estruturação que visa esclarecer o objetivo do decisão por meio da definição do problema; ii. Fase de projeto: definição do modelo MCDM e o conjunto de critérios e alternativas baseados no objetivo; iii. Fase de escolha: Os critérios são avaliados pelo método MCDM selecionado e uma solução adequada para o problema de decisão é recomendada (ZARE et al., 2016).

Métodos multicritério para tomada de decisão têm sido muito utilizados na solução de problemas que envolvem uma escolha, ou seja, uma tomada de decisão, uma

vez que procuram esclarecer ao decisor as possibilidades de escolha. Eles apoiam o processo decisório, baseado nas informações existentes, incorporando valores dos agentes (critérios), na busca da melhor solução. Tais métodos são muito utilizados na economia e na produção e fazem parte da grande área de Pesquisa Operacional. Seus primeiros conceitos surgiram em 1951 (KOOPMANS, 1951).

Recentemente as técnicas MCDM atraíram a atenção de pesquisadores e profissionais em avaliação de *E-learning*. Embora pesquisas utilizando MCDM sejam relativamente novas em tais ambientes, no mapeamento sistemático da bibliografia Zare et al. (2016) encontraram 42 artigos entre o período de 2001 a 2015 com aplicação de MCDM em *E-learning*.

São exemplos de MCDM encontrados no mapeamento de Zare et al. (2016) para avaliação em *e-learning*:

- **Analytic Hierarchy Process (AHP)**: é expresso por uma hierarquia, que mostra a relação entre metas (objetivo) e níveis de critérios. Este método serve de avaliação, ranking e seleção de critérios, o que resulta em decisões otimizadas (SAATY, 1980);
- **Elimination et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE)**: é capaz de lidar com critérios discretos, tanto quantitativos quanto qualitativos, a fim de fornecer uma ordem completa de alternativas. A concordância, os índices de discordância e os valores de limiar são utilizados nesta técnica e possuem um intervalo entre 0 e 1 que geram gráficos para relacionamentos fortes e fracos. Também fornece um julgamento sobre o grau de credibilidade de cada relação de superação e testa o desempenho das alternativas (ROY, 1990);
- **Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)**: Aplica o conceito simples de maximizar a distância da solução ideal negativa e minimizar a distância da solução positiva ideal, cuja alternativa adequada deve ser a mais curta na solução ideal positiva e a mais longa em distância na solução ideal negativa. O método foi desenvolvido por Hwang e Yoon (1981);
- **Analytical Network Process (ANP)**: é um método multicritério, que modela os problemas para um formato de rede. Diferentemente do AHP que usa hierarquia, no ANP metas e alternativas estão interligadas, buscando abordar os problemas de decisão de forma mais holística, considerando a dependência e o *feedback* entre os critérios. O método foi criado por Saaty (1996);
- **Decision making trial and evaluation laboratory (DEMATEL)**: Possui um tipo de abordagem para modelagem estrutural e sua principal característica é analisar relações de causa e efeito usando matrizes ou dígrafos. DEMATEL pode

converter a relação entre as causas e os efeitos dos critérios em um modelo estrutural inteligível. O método foi empregado por Gabus e Fontela (1973);

Além desses métodos encontrados na pesquisa de Zare et al. (2016), há outros conhecidos e que são utilizados em pesquisas recentes, como:

- **Goal Programming:** Pode ser considerado uma extensão da programação linear para lidar com múltiplas medidas objetivas, onde cada uma dessas medidas recebe um objetivo ou valor alvo a ser alcançado. O método está detalhado no trabalho Charnes, Cooper e Ferguson (1955);
- **Fuzzy:** A lógica Fuzzy pode ser entendida como uma classe de objetos com uma grade de notas de associação. Esse conjunto é caracterizado por uma função de associação (característica) que atribui a cada objeto um grau de associação que varia entre zero e um. As noções de inclusão, união, intersecção, complemento, relação, convexidade, etc., são estendidas a tais conjuntos, e várias propriedades dessas noções no contexto de conjuntos difusos são estabelecidas (ZADEH, 1965);
- **Data Envelopment Analysis (DEA):** É um método que avalia a eficiência relativa em unidades de tomada de decisão que realizam tarefas similares e se diferenciam nas quantidades de entradas que consomem e de saídas que produzem. O método DEA verifica se cada unidade opera de maneira adequada ou não. O método foi criado por Charnes, Cooper e Rhodes (1978);
- **Preference Ranking Organization Method Enriched Evaluation (PROMETHEE):** É um tipo de método baseado na relação de superação entre pares de alternativas. O método de superação compara pares de alternativas em cada critério em primeiro lugar e induz a função preferencial para descrever a diferença de preferência entre pares de alternativas em cada critério. O método foi proposto por Brans, Vincke e Mareschal (1986);

Como pode-se observar, tais métodos foram criados há muito tempo sendo o mais antigo do ano 1955 o Goal Programming (CHARNES; COOPER; FERGUSON, 1955) e ainda são utilizados em muitas pesquisas recentes com a finalidade de apoiar o decisor em situações que envolvam várias alternativas. Embora sejam muito aplicados no setor operacional, estudos recentes vem utilizando-os em outras variadas áreas, incluindo na área de educação para mensurar instrumentos de qualidade de materiais didáticos para ensino a distância, por exemplo Ribeiro, Freitag e Sellitto (2018). Eles também têm sido utilizados, para avaliação de portais do governo disponíveis na Web (LUNA et al., 2012), bem como para seleção de objetos

de aprendizagem, assim como otimização em Repositórios de Objetos de Aprendizagem (BAŞARAN, 2016), ambiente *E-learning* (ZARE et al., 2016) entre outras diversas aplicações de avaliação.

A seguir serão abordados os métodos multicritério de decisão, que serão utilizados neste trabalho. O método *Data Envelopment Analysis* (DEA) que avalia a eficiência entre as unidades de tomada de decisão (alternativas de solução do problema) e ranqueia essas unidades de acordo com as variáveis que melhor a definem. Nesse caso, os ROAs envolvidos na avaliação são as unidades de tomada de decisão.

O método AHP, por sua vez, foi utilizado para realizar uma avaliação hierárquica em relação ao objetivo que no caso é a seleção de ROAs. Além desses, neste trabalho, também são utilizados dois métodos híbridos, assim chamados por fazerm a combinação de dois ou mais métodos multicritérios. Os métodos híbridos aqui abordados serão o AHP-Fuzzy muito utilizado na literatura, e o método AHP-DEA, desenvolvido exclusivamente para este trabalho.

2.4.1 Análise Envoltória de dados (DEA)

A Análise Envoltória de Dados do inglês (*Data Envelopment Analisys*) (DEA) é um método multicritério de tomada de decisão e uma técnica de programação matemática, que permite avaliar o grau de eficiência produtiva de diversas unidades de tomada de decisão, ou *Decision Making Units* (DMU's). Para tal, são considerados os recursos de que se dispõe como entradas (*inputs*) e os resultados alcançados pelas DMUs como saídas (*outputs*).

O trabalho que deu origem ao método multicritério DEA realizou uma avaliação de programas educacionais públicos (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), onde cada escola era vista como uma unidade de tomada de decisão (DMU). A técnica DEA tem como objetivo medir a eficiência relativa de DMUs, considerando indicadores, variáveis/critérios tanto de entrada como saída. Cada saída representa um critério para ser maximizado e cada entrada representa um insumo como critério a ser minimizado, em busca da melhor eficiência. Com o DEA, os pesos para entradas e saídas são atribuídos automaticamente pelo próprio método.

O método DEA apresenta a eficiência relativa das DMUs em um intervalo de 0 a 1, onde 1=100% eficiente. Assim, a fronteira de eficiência gerada pelo DEA é composta pelas DMUs que conseguem ser mais produtivas com menos recursos, e portanto consideradas mais eficientes em relação às demais (MEZA; GOMES; NETO, 2005).

O método DEA dispõe de diferentes modelos de utilização conforme as circunstâncias de modelagem do problema sendo analisado, bem como do comporta-

mento do que se está analisando. Esse é o caso, por exemplo, para a forma como a eficiência relativa é calculada, ou seja, os modelos de orientação, bem como os modelos de retorno de escala que mapeiam a proporcionalidade de alterações nas saídas ou entradas, conforme os valores dessas entradas/saídas variam com o passar do tempo. Sendo assim, no modelo de orientação à entrada tenta-se minimizar as entradas (com saídas constantes), ou seja busca produzir o mesmo com menos. No modelo de orientação à saída tenta-se maximizar as saídas (com entradas constantes), ou seja busca-se produzir mais com o mesmo (MEZA; GOMES; NETO, 2005).

Além do modelo de orientação, o método DEA faz uso de dois modelos de retorno de escala. Tal conceito está relacionado com a proporção da saída produzida relativamente a proporção de entrada consumida. A fronteira de eficiência em termos do posicionamento gráfico das DMUs em função das eficiências é calculada conforme os modelos de retorno de escala.

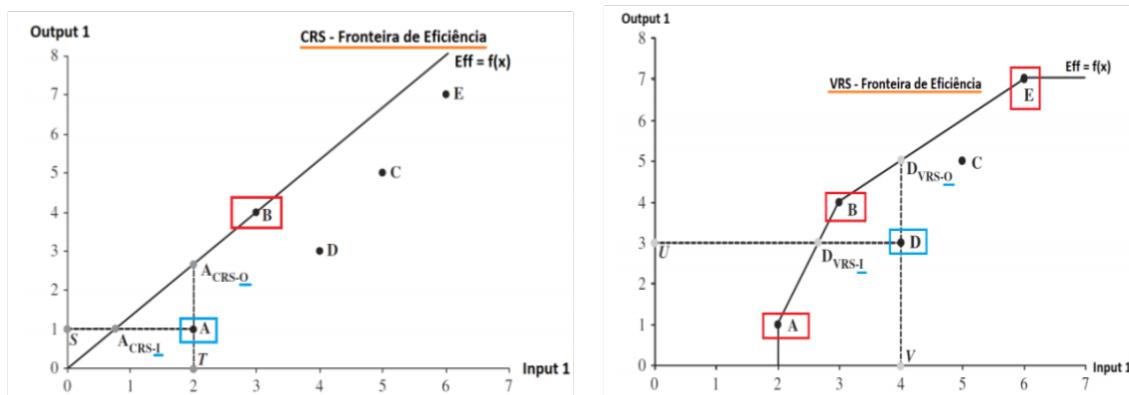
A Figura 1 ilustra esses dois modelos graficamente e a geração de suas fronteira de eficiência. O primeiro modelo com retornos constantes de escala do inglês, *Constant Returns of Scale* (CRS) indica que qualquer variação nas entradas (*Input*) produz variação proporcional nas saídas (*Output*), e é conhecido como modelo CCR - que são as iniciais dos nomes dos criadores Charnes, Cooper e Rhodes (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978). Já no segundo modelo com retorno de escala variável, do inglês *Variable Returns of Scale* (VRS), indica o caso onde não é mantida a proporcionalidade entre as variações nas entradas e saídas, e é conhecido pelas iniciais dos nomes dos criadores Banker, Charnes and Cooper - (BCC) (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984).

Nesse caso, basicamente, independentemente do modelo de orientação, a tarefa do método DEA é encontrar pesos para cada variável (de entrada e saída) da forma que lhe for mais favorável, desde que esses pesos aplicados às outras DMUs não gerem uma razão superior a 1. As DMUs cujos pesos para entradas e saídas gerarem uma razão igual a 1 pertencerão ao conjunto das DMUs ditas na fronteira de eficiência entre elas.

Para a escolha de um desses modelos, tanto o CCR como o BCC, é necessário que as variáveis de entrada e saída sejam bem definidas e modeladas, representando a abstração do problema a ser resolvido, para que os resultados gerados de fato representem a eficiência relativa entre as DMUs.

Após modelar as variáveis de entrada e saída, o método DEA é executado. Nesse sentido, os valores das variáveis para cada DMU são calculadas utilizando os modelos clássicos (CCR ou BCC) e orientação (entrada ou saída) do *Data Envelopment Analysis* (DEA). Nesse trabalho foi utilizado o modelo (BBC) orientado a saída,

Figura 1 – Exemplo gráfico de fronteira de eficiência no modelo CRS e VRS



Fonte: Modelo CRS e VRS (ISHIZAKA; NEMERY, 2013)

uma vez que pretende-se maximizar a saída, ou seja a Reusabilidade e os recursos remanescentes do ROA após requisição do usuário.

2.4.2 Avaliação Cruzada (Ranqueamento)

Com a fronteira de eficiência gerada para todos os ROAs candidatos envolvidos, é possível o ranqueamento das DMUs (ROA) consideradas mais eficientes, e portanto pertencentes a essa fronteira. Contudo, o DEA pode trazer mais de uma DMU (alternativa) eficiente, utilizando sua forma padrão de classificação. Diante disso, pode se optar em utilizar a forma de avaliação de eficiência cruzada do próprio DEA (SEXTON; SILKMAN; HOGAN, 1986). A avaliação de eficiência cruzada busca auxiliar na discriminação dos resultados, ou seja, mesmo dentre as DMUs consideradas eficientes, ela procura disponibilizar uma espécie de ranqueamento entre elas realizando uma avaliação em pares para evitar pesos nulos e encontrar a média desses pesos que determinará em ordem decrescente o ranqueamento, ou seja, o mecanismo de avaliação de eficiência cruzada irá avaliar a eficiência de cada uma e as ranqueará de acordo com a proximidade de um valor de eficiência padrão do DEA que é igual a 1. Assim, a DMU cujo valor de eficiência relativa mais se aproximar do valor padrão, ou seja, aquela que possuir o maior peso na avaliação de eficiência cruzada, será considerada a mais eficiente.

O modelo padrão do DEA realiza a auto-avaliação que permite que cada DMU escolha os pesos associados aos *inputs* e aos *outputs* que lhe são mais favoráveis, isto é, permite flexibilidade na determinação desses pesos. A ideia principal da avalia-

ção cruzada é usar o DEA em uma avaliação de pares calculada pelos modelos clássicos DEA. Uma avaliação por pares significa que cada DMU é avaliada de acordo com o esquema de ponderação ideal de outras DMUs. A média dessas eficiências é a “avaliação cruzada” como mostrado na Tabela 2 em que A_{bb} é a pontuação de eficiência calculado pelo modelo clássico do DEA, presente na diagonal da matriz, A_{bc} que é a pontuação de eficiência para as DMUs calculadas usando o esquema de ponderação obtido a DMU_n e na última linha é a média de eficiência cruzada.

Para realizar este procedimento precisa-se dos pesos ótimos, obtidos resolvendo os problemas de programação linear (PPL) para cada DMU. Esses são os índices de avaliação cruzada obtidos pela autoavaliação e pela avaliação feita pelas restantes DMUs. Usa-se os escores de eficiência calculados de acordo com os modelos clássicos de DEA e o esquema de ponderação ideal usado para obter as pontuações. Para escolher entre os vários possíveis valores para os pesos ótimos de cada DMU, arbitra-se que estes, quando aplicados às outras DMUs, devem minimizar a sua eficiência (formulação agressiva) ou, ao contrário, maximizá-la (formulação benevolente).

Em resumo a avaliação cruzada é feita em duas etapas: i) determina-se a eficiência segundo o modelo escolhido (BBC,CCR); ii) determinam-se os pesos segundo esses modelos. Com as eficiências calculadas constrói-se uma matriz de eficiências cruzadas, na qual a média de cada coluna é a avaliação cruzada.

O ranqueamento é realizado ordenando os valores de média da matriz de eficiência cruzada do maior para o menor. A melhor DMU (ROA) será sempre o que tiver o maior valor.

Tabela 2 – Matriz de eficiência cruzada

ROA	ROA 1	ROA 2	ROA 3	ROA 4	.....	ROA n	
ROA 1	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	.....	A_{1n}	
ROA 2	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{24}	.....	A_{2n}	
ROA 3	A_{31}	A_{32}	A_{33}	A_{34}	.....	A_{3n}	
ROA 4	A_{41}	A_{42}	A_{43}	A_{44}	....	A_{4n}	
.....	
n	A_{n1}	A_{n2}	A_{n3}	A_{n4}	....	A_{nn}	
Média	a_1	a_2	a_3	a_4	...	a_n	

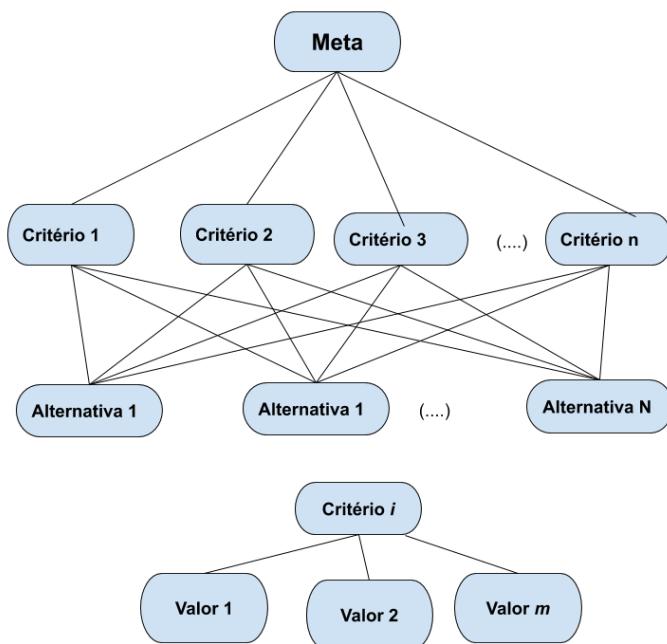
2.4.3 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método multicritério de tomada de decisão, desenvolvido por Thomas L.Saaty (SAATY, 1980). Ele é muito eficaz para lidar com decisões complexas, pois estabelece a necessidade de níveis de prioridade entre os critérios utilizados para a solução, e entre critérios e alternativas de solução, de forma a realizar uma avaliação pareada entre os envolvidos com vistas a determinar

um resultado consistente a respeito da melhor alternativa de solução ao problema proposto.

A Figura 2 demonstra a modelagem de um problema conforme o processo de hierarquia analítica (AHP), em que no primeiro nível o elemento é o objetivo da decisão, no segundo nível conectada a ela, tem-se o nível que representa os critérios e o nível mais baixo representa as alternativas. Em hierarquias mais complexas, mais níveis podem ser adicionados. Esses níveis adicionais representam os subcritérios. Na maioria das vezes, há um mínimo de três níveis na hierarquia (ISHIZAKA; NEMERY, 2013).

Figura 2 – Hierarquia AHP



Fonte: Adaptado de Saaty (2004)

De forma geral o AHP propõe uma hierarquia, cuja raiz é uma meta, passando por critérios e sub critérios e finalmente levando às alternativas de solução do problema, esse método é do tipo "divisão e conquista". Após estruturar a hierarquia com seus níveis e sub níveis, é necessário definir a prioridade, que é uma pontuação, que classifica a importância da alternativa ou critério na decisão de forma que o processamento realizado pelo método estabeleça uma pontuação final para cada alternativa (SAHRONI; ARIFF, 2016). Os autores Ishizaka e Nemery (2013) definem três tipos de prioridades:

- Prioridades de critérios. Importância de cada critério (com respeito ao objetivo principal).
- Prioridades alternativas locais. Importância de uma alternativa em relação a um critério específico.
- Prioridades alternativas globais. Critérios prioritários e prioridades alternativas locais são resultados intermediários usados para calcular as prioridades alternativas globais. As prioridades alternativas globais classificam as alternativas em relação a todos os critérios e consequentemente, ao objetivo geral.

AHP usa um conjunto padrão de valores inteiros (1-9), conhecido como escala de Saaty (SAATY, 2004), para descrever a importância da relação entre os níveis hierárquicos, onde 9 representa a maior importância de um elemento (critério ou alternativa) em relação ao outro, e 1 é a menor importância. O número 1 também significa que os critérios sendo avaliados são igualmente importantes entre si. A Tabela 3 apresenta a escala de Saaty com os significados para cada valor. Utilizando a escala de Saaty é possível realizar julgamentos feitos em um par de elementos em relação a uma propriedade que eles têm em comum, de forma consistente e padronizada. A escala de Saaty é usada nas matrizes de comparação também conhecidas por matrizes de julgamento (entre critério e objetivo e entre critérios e alternativas), e seus valores basicamente representam o grau de importância que um item tem em relação ao outro (ISHIZAKA; NEMERY, 2013).

Tabela 3 – Escala de SAATY

Escala de Importância	Definição	Explicação
1	Elementos que possuem a mesma importância	Dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
2	igual a moderado	
3	Importância moderada de um elemento sobre o outro	Experiência e julgamento favorecem um elemento em detrimento de outro
4	Moderado mais	
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Experiência e julgamento favorecem fortemente um elemento sobre outro
6	mais forte	
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Um elemento é favorecido muito fortemente em detrimento de outro;
8	Muito, muito forte	
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	A evidência que favorece um elemento em detrimento de outro é da mais alta possível em ordem de afirmação

Fonte: Adaptada de Saaty (2004)

Assim, para calcular as prioridades (pesos) para cada um dos critérios na escolha da mais adequada alternativa, se faz necessário a construção de uma matriz

de julgamento que reúnem as comparações entre pares de critérios, que pode ser realizada por especialistas (preferencialmente), ou interessado no problema. As comparações na diagonal principal da matriz resultam em 1 (um) porque um critério é comparado consigo mesmo. A matriz é recíproca porque o triângulo inferior tem seus valores reversos em relação ao triângulo superior. Por exemplo, em uma matriz de julgamento se o critério 2 é 1/7, é tão importante quanto o critério 3, consequentemente o critério 3 é 7 (inverso de 1/7) vezes mais importante que o critério 2 (ISHIZAKA; NEMERY, 2013).

Uma vez estabelecidas as importâncias entre elementos (critérios nesse caso), como mostra a Tabela 4, de forma a calcular os pesos dos mesmos em relação a meta, é necessário normalizar a matriz de julgamento. Isso gera uma pontuação entre os critérios. Para realizar a normalização, cada elemento da matriz de julgamento é dividido pela soma dos elementos em sua respectiva coluna.

Tabela 4 – Tabela de julgamento e comparação entre pares de critérios

Objetivo	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério...n
Critério 1	1	2	3	5	n
Critério 2	1\2	1	1\7	3	1\n
Critério 3	1\3	7	1	1\3	1\n
Critério 4	1\5	1\3	3	1	n
Critério...n	1\n	n	n	1\n	1
Soma coluna	2,03	10,3	7,14	9,3	

Fonte: Autoria própria

A Tabela 5 ilustra o processo de normalização e calcula a pontuação final (peso prioritário), para cada critério. Essa pontuação final corresponde a média de todos os valores da linha. Portanto, a Equação 2.1 , representa o peso prioritário do critério C_i .

$$PC_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_j}{n} \quad (2.1)$$

Tabela 5 – Normalização dos valores dos critérios

Objetivo	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Peso
Critério 1	0,492	0,194	0,420	0,860	0,4915
Critério 2	0,246	0,097	0,020	0,322	0,17125
Critério 3	0,164	0,679	0,140	0,035	0,2545
Critério 4	0,098	0,032	0,420	0,107	0,16425

Fonte: Autoria própria

O mesmo processo deve-se repetir em relação as alternativas com cada um dos critérios envolvidos na tomada de decisão. A Tabela 6 ilustra uma matriz de julgamento formada pelas prioridades de cada alternativa em relação ao Critério 1.

Tabela 6 – Tabela de julgamento e comparação entre pares de Alternativas em relação ao Critério 1

Critério 1	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa n
Alternativa 1	1	7	5	n
Alternativa 2	1\7	1	1\3	n
Alternativa 3	1\5	3	1	n
Alternativa n	1\n	1\n	1\n	n
soma	1,34	11	6,33	

Fonte: Autoria própria

A Tabela 7 ilustra a normalização das prioridades das alternativas em relação ao Critério 1. Também é ilustrado o peso gerado para cada alternativa em relação ao Critério 1. Importante lembrar que esse processo deve ser realizado para cada um dos n critérios.

Em seguida, quando houver tantas tabelas similares à Tabela 7, conforme o

Tabela 7 – Normalização dos valores das Alternativas em relação ao Critério 1

Critério 1	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Peso
Alternativa 1	0,746	0,636	0,789	0,7236
Alternativa 2	0,106	0,090	0,052	0,0826
Alternativa 3	0,149	0,272	0,157	0,1926

Fonte: Autoria própria

número de critérios envolvidos no problema, procede-se à pontuação final (global) de cada alternativa em relação ao objetivo. A pontuação global (final) para cada alternativa i com base em cada critério j é calculada de acordo com a Equação 2.2 para cada alternativa (A_i) em relação a todo critério j , e seu peso global anteriormente calculado, (PC_j); com $i = 1, 2, 3, \dots, m$, e $j = 1, 2, 3, \dots, n$. A matriz (A_m^n) representa os valores dos pesos nas n alternativas, para cada um dos m critérios. O valor (C_j) corresponde ao valor do critério j .

$$Alternativa_i = \sum_{j=1}^m PC_j * (A_j^i * C_j) \quad (2.2)$$

Assim, ao final, todas as alternativas terão uma pontuação que será utilizada pelo método AHP para ordená-las de forma decrescente.

Contudo, as pontuações no método AHP só fazem sentido se forem derivadas de matrizes de julgamento consistentes. Para se conseguir isso, uma verificação de consistência deve ser realizada. Assim, quando a matriz de julgamento é preenchida pelo especialista ou usuário, uma verificação de consistência pode ser realizada para detectar possíveis contradições nas entradas. Para tal verificação, é calculado o índice de consistência (I.C.) conforme a Equação 2.3.

$$I.C. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.3)$$

Sendo que λ_{max} é o autovalor máximo e n o número de linhas e colunas (dimensão da matriz). Se o índice de consistência não for satisfatório, o julgamento deve

ser refeito (SAATY, 2004). Como regra geral, se o índice de consistência for menor do que 0,1, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Se for maior do que 0,1 recomenda-se que julgamentos sejam refeitos (por exemplo, reescrevendo questões do questionário ou recategorizando elementos) até que a consistência aumente.

2.4.4 Método AHP-Fuzzy

O método AHP-Fuzzy, também conhecido como FAHP, segue o mesmo padrão do método AHP, utilizando matrizes de julgamento alimentadas pelos especialistas. Entretanto, tais matrizes fazem uso dos números *fuzzy* triangulares que variam de 0 á 1 (KURILOVAS; VINOGRADOVA; KUBILINSKIENE, 2016), para cada número triangular corresponde a um número de 1 a 9 da escala de Saaty . Um número *fuzzy* triangular (M) possui três parâmetros (l, m, u), "m"é o valor modal, "l"(lower) e "u"(upper), onde l e m representam os valores mínimo e máximo, respecivamente.

Com o AHP-Fuzzy se estabelecem os pesos para critérios e alternativas que são também números *fuzzy* triangulares. Tal abordagem tem como objetivo diminuir a incerteza (KURILOVAS; DAGIENE, 2011) do julgamento feito por especialistas sobre os critérios subjetivos, ou seja, permite que o especialista atribua não apenas um valor para a relação de importância, mas um intervalo apropriado de valores.

O processo de manipulação de números *fuzzy* necessário para proceder à obtenção dos pesos para critérios e alternativas foi proposto por Chang (1996). Esse processo chama-se método avançado estendido de análise *fuzzy*. Ele difere levemente do mecanismo de somas dos valores de colunas, normalização dos valores e média dos valores das linhas da matriz de julgamento, conforme acompanharemos. As operações *fuzzy* utilizadas nesse método, (idênticas às operações com números *fuzzy* triangulares) são as seguintes:

- $$(i) \quad (l_1; m_1, u_1) \oplus (l_2; m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$
- $$(ii) \quad \lambda(l_1, m_1, u_1) = (\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1) \quad \forall \lambda > 0, \forall \lambda \in \mathbb{R}$$
- $$(iii) \quad (l_1, m_1, u_1)^{-1} = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1)$$

A operação (i) representa a soma entre dois números *fuzzy* triangulares. A (ii) representa a multiplicação escalar de um número *fuzzy* triangular (\otimes) , enquanto a operação (iii) representa a inversão de um número *fuzzy* triangular.

Assim, dada uma matriz de julgamento preenchida com números inteiros de acordo com a escala de Saaty, sua transformação para uma matriz de julgamento de números *fuzzy* é apresentada na Figura 8. Nesse exemplo, a transformação dos

valores da escala de Saaty para números *fuzzy* triangulares segue uma função de fuzzificação triangular bastante simples, onde o próprio valor inteiro assume a parte m do número *fuzzy*, enquanto a parte l e u , correspondem ao próprio valor inteiro da escala de Saaty menos 1 e mais um, respectivamente. Na mesma figura também pode-se observar o valor *fuzzy* triangular, denominado Media Fuzzy, correspondente a soma dos valores em linha para cada critério. Posteriormente, tal valor será utilizado na geração do peso de cada critério.

Tabela 8 – Comparação entre pares utilizando valores *fuzzy*

Escala SAATY	Números Fuzzy Triangulares	Matriz utilizando escala de SAATY			
Objetivo	Critério 1	Critério 2	Critério 3		
Critério 1	1	3	0,5		
Critério 2	0,33	1	3		
Critério 3	2	0,33	1		

Objetivo	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Média fuzzy
Critério 1	(1,1,1)	(2,3,4)	(0,33,0,5,1)	(3,33; 4,5; 6)
Critério 2	(0,25; 0,33; 0,5)	(1,1,1)	(2,3,4)	(3,25; 4,33; 5,5)
Critério 3	(1,2,3)	(0,25; 0,33; 0,5)	(1,1,1)	(2,25; 3,33; 4,5)

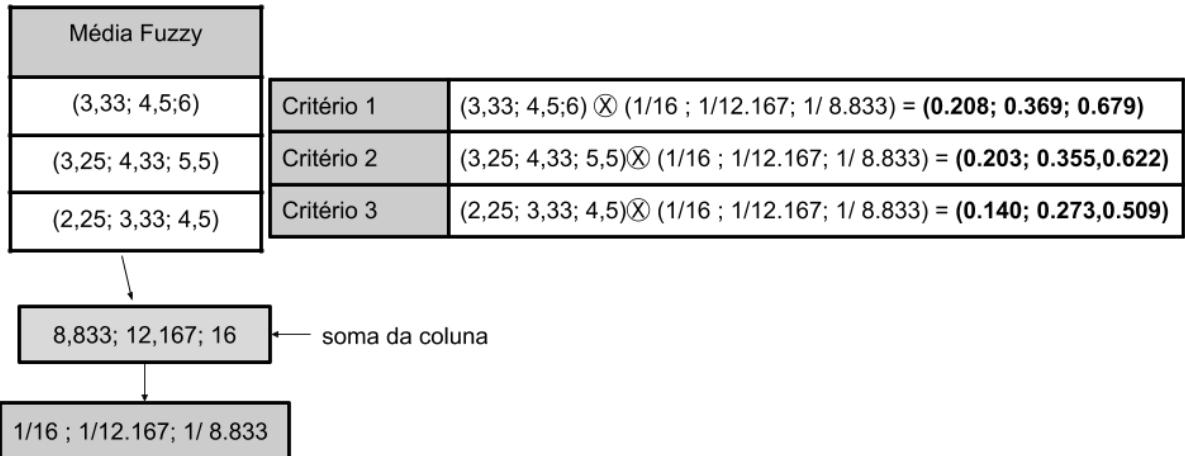
Fonte: Exemplo utilizado por Manoj Mathew (2019)

Na próxima etapa do método estendido de análise *fuzzy*, os valores da coluna Média Fuzzy são somados. Uma vez obtido o número *fuzzy* resultante, o mesmo é invertido. Em seguida, para o obtenção do peso *fuzzy* do critério, é realizada a multiplicação escalar, em que o valor da média *fuzzy* de cada critério, por ex: do critério 1, critério 2 e critério 3; é multiplicado pelo resultado invertido da soma da coluna da Média Fuzzy, calculado anteriormente. A ilustração do processo é exemplificada na Figura 9.

Assim, matematicamente, o processo ilustrado pela Figura 9, conforme proposto pelo método estendido de análise *fuzzy* de Chang (1996), é definido pela Equação 2.4. Nela $M_{i,j}$ representa o número *fuzzy* triangular na posição i, j da tabela de julgamento, e S_i representa o peso *fuzzy* do critério i , $i = 1, 2, \dots, n$.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{i,j} \otimes \left[\sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^m M_{t,j} \right]^{-1} \quad (2.4)$$

Tabela 9 – Cálculo do peso fuzzy



Fonte: Exemplo utilizado por Manoj Mathew (2019)

Uma vez de posse dos números *fuzzy* que representam os pesos *fuzzy* dos critérios, é necessário que sejam defuzzificados para serem utilizados como números reais para os pesos dos critérios, na aplicação do método AHP. Esse processo de defuzzificação (transformar esses números *fuzzy* em números reais) também é baseado no método estendido de análise *fuzzy*, proposto por Chang (1996). Nesse caso, a defuzzificação está baseada na comparação entre os números *fuzzy* por meio de seus graus de possibilidades. O grau de possibilidade representa quanto um número *fuzzy* é maior ou igual a outro, de acordo com suas alturas (*height* - função *hgt()*).

Assim, o grau de possibilidade de $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ é expresso pela Equação 2.5:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \geq M_2) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0.001, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2.5)$$

Onde M_1 e M_2 são números *fuzzy* triangulares.

A comparação entre os números *fuzzy*, por meio dos seus graus de possibilidades, deve ocorrer de forma pareada. Ou seja, o grau de possibilidade de cada número *fuzzy* $V(M_i)$ deve ser comparado com os graus dos demais números, gerando para o número comparado um valor representante para o peso final do critério associado com o índice desse número *fuzzy*.

Assim, para comparar M_1 com os demais números seus graus de possibili-

dades, são comparados. Assim, o grau de possibilidade de um número *fuzzy* M ser maior do que k números *fuzzy* $M_i (i = 1, 2, 3, \dots, k)$ pode ser definido pela Equação 2.6.

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_K) &= V(M \geq M_1) \text{ e } V(M \geq M_2) \text{ e } \dots \text{ e } V(M \geq M_k) = \\ &\min\{V(M \geq M_i)\}, i = 1, 2, \dots, k \end{aligned} \quad (2.6)$$

Uma vez que já temos os pesos *fuzzy* $S_i, (i = 1, 2, \dots, n)$ a comparação de graus de possibilidades se dá entre eles. Portanto, para cada S_i , teremos um conjunto de valores mínimos correspondendo a comparação do seu grau de possibilidade em relação aos demais, ou seja, como resultado da Equação 2.6 para cada $S_j, (j = 1, 2, \dots, n); j \neq i$. Como cada S_i na verdade corresponde ao peso *fuzzy* do critério i , o valor mínimo de conjunto de valores mínimos representa o peso do critério i como um número real ainda não normalizado. A esse número chamaremos de $d'(A_i)$ definido pela Equação 2.7.

$$d'(A_i) = \min\{V(S_i \geq S_k), k = 1, 2, \dots, n; k \neq i\} \quad (2.7)$$

Assim, teremos $d'(A_1)$ correspondendo ao peso ainda não normalizado para o critério 1, $d'(A_2)$, para o segundo, e assim sucessivamente até o critério n . Todos esses valores juntos formam um vetor de pesos, onde para cada posição corresponde o valor $d'(A_i)$ apropriado. Tal vetor pode ser definido como $W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))$.

O último passo na definição dos pesos dos critérios é a normalização de W' , gerando $W = \left(\frac{d'(A_1)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)}, \frac{d'(A_2)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)}, \dots, \frac{d'(A_n)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)} \right) = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))$.

Assim, por exemplo, observando os valores de peso *fuzzy* para o Critério 1, como S_1 , e assim sucessivamente, presentes na Tabela 9, passamos a executar a comparação dos graus de possibilidades entre eles (Equação 2.6), utilizando-se da definição de graus de possibilidades (Equação 2.5). Portanto, temos:

$$V(S_1 \geq S_2) = 1$$

$$V(S_1 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 0,967$$

$$V(S_2 \geq S_3) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 0,758$$

$$V(S_3 \geq S_2) = 0,788$$

Assim, para cada critério, temos um valor mínimo correspondendo a $d'(A_i)$, de acordo com a Equação 2.7:

$$d'(S_1) = \min\{V(S_1 \geq S_2, S_3)\} = 1$$

$$d'(S_2) = \min\{V(S_2 \geq S_1, S_3)\} = 0,967$$

$$d'(S_3) = \min\{V(S_3 \geq S_1, S_2)\} = 0,758$$

Ou seja, para esse exemplo, o vetor de pesos não normalizados é:

$$W' = (1, 0, 967, 0, 758)$$

Finalmente, no último passo, normaliza-se os valores do vetor W' para obter os pesos finais dos critérios envolvidos. Tendo-se em conta, neste exemplo, que a soma dos valores do vetor W' é 2,725, tem-se:

$$W = \left(\frac{1}{2,725}, \frac{0,967}{2,725}, \frac{0,758}{2,725} \right) = (0,3669, 0,3548, 0,2781)$$

A Tabela 10 apresenta de forma resumida, para cada critério, o valor de peso *fuzzy* e real.

Tabela 10 – Resumo dos pesos *fuzzy* e real

		Si	Pesos dos critérios
Critério 1	S1	(0.208; 0.369; 0.679) l1 m1 u1	0,3669
Critério 2	S2	(0.203; 0.355,0.622) l2 m2 u2	0,3548
Critério 3	S3	(0.140; 0.273,0.509) l3 m3 u3	0,2781

Fonte: Exemplo utilizado por Manoj Mathew (2019)

Após encontrar os pesos com AHP-*fuzzy*, ocorre o processo tradicional usando o AHP para calcular os pesos dos critérios e as alternativas, utilizando a Equação 2.2. Esses valores são multiplicados adicionando os valores dos critérios que são requisitados pelo usuário. Finalmente encontra-se a pontuação final para cada alternativa, aquela que receber o maior valor também será considerada a melhor.

2.5 TRABALHOS RELACIONADOS

Repositórios de objetos de aprendizagem são plataformas disponíveis para o armazenamento dos objetos de aprendizagem que permitem posteriormente a reutilização desses recursos. Os estudos que vem sendo realizados procuram otimizar esse tipo de sistema web em relação a busca e seleção pelo usuário do mais adequado a

sua necessidade. Além disso, tais trabalhos também visam lidar com a grande quantidade de recursos armazenados, o que impacta na certificação de qualidade de tais recursos Cechinel et al. (2016).

O principal problema na avaliação de um software de aprendizagem é a aplicação de um modelo ou método que seja adequado (KURILOVAS, 2013), ou seja, apropriado para escolher um ROA de alta qualidade com significativa acessibilidade e com qualidade para a educação. Porém, selecionar um ROA adequado, em termos de qualidade de software não é algo simples. Além do método manual de seleção que exige do usuário grande habilidade de comparação, disposição e tempo, existem os métodos de seleção automatizados envolvendo critérios individualmente, ou mesmo um conjunto de critérios (GORDILLO; BARRA; QUEMADA, 2017). Levando em conta essa consideração, os métodos multicritério de tomada de decisão (MCDM), são de grande eficácia para realizar uma avaliação consistente entre os ROAs de forma que auxilie o usuário a tomar decisões precisas sobre quais ROAs podem ser robustos e completos.

Métodos multicritérios de tomada de decisão são bastante populares e amplamente utilizados em diversas áreas e através desses métodos são levantados um conjunto adequado de critérios e alternativas; para atribuir pesos que mostram a importância relativa dos critérios em relação as alternativas; para processar e interpretar valores numéricos que decidem a classificação de cada alternativa em comparação com a preferência total (BAŞARAN, 2016). Também procuram esclarecer ao decisor as possibilidades de escolha, baseado nas informações existentes, incorporando valores dos agentes, na busca da melhor solução. Recentemente as técnicas multicritério chamam a atenção de pesquisadores e profissionais da educação, em específico na avaliação de *e-learning* Zare et al. (2016).

Pesquisas utilizando MCDM estão mais ligadas ao setor operacional e ainda são relativamente novas em pesquisas que envolvam ambientes de aprendizagem, porém como mostrado na revisão sistemática de (ZARE et al., 2016) os autores encontraram 42 artigos entre o período de 2001 a 2015 envolvendo MCDM e *E-learning*. Um crescimento substancial de 9 (21,4%) para 33 (78,6%) artigos nos primeiros 8 anos e nos últimos 6 anos. Os autores estimam que o número continue aumentando nos próximos anos por causa da importância do *E-learning* e privilégios excepcionais das diferentes técnicas de MCDM. Assim, pode-se mencionar estudos que utilizam MCDM para mensurar instrumentos de qualidade de materiais didáticos para ensino a distância (RIBEIRO; FREITAG; SELLITTO, 2018), para avaliar a eficiência de portais do governo disponíveis na web (LUNA et al., 2012) ou para seleção de objetos de aprendizagem ou ROA (BAŞARAN, 2016), entre outros.

Nesse sentido, para uma avaliação com métodos multicritério, primeiramente

precisa-se encontrar/definir os critérios que sejam fundamentais na representação da qualidade dos ROAs. Assim foi no trabalho de Andrews, Harker e Krahmer (2018), que estabeleceu três critérios, para apoiar a gerencia de repositórios em relação as decisões a serem tomadas. Os critérios definidos foram: A disseminação do conhecimento, impacto na reputação e eficiência. Com esses critérios foi possível aos gerentes de repositórios realizarem uma avaliação hierárquica com AHP, com o objetivo de realizar um planejamento em relação as necessidades e os recursos nos repositórios.

Assim, definir os critérios para avaliar um *software*, é um dos passos mais importantes para realizar uma avaliação. Na literatura, os mais variados critérios são utilizados pelos autores que trabalham com ROAs. No trabalho de Kurilovas (2013), os autores criaram o método MCEQLS, do inglês (*Approach in MultiCriteria Evaluation of Quality of Learning Repositories*) com objetivo de melhorar significativamente a qualidade da avaliação especializada do *software* de aprendizagem. Essa ferramenta tem como primeiro passo a análise para identificação de critérios que podem ser qualitativos e quantitativos. Os critérios levantados e justificado pelos autores são os seguintes:

- Navegação: que contenha um formulário de pesquisa simples, geralmente vinculado a um formulário de pesquisa avançada (ou um formulário de pesquisa expansível ou área de busca) dando um controle mais refinado sobre os parâmetros de busca e filtragem de resultados como por exemplo, listando o resultado de pesquisa de OA.
- Compartilhamento e aquisição de OA: É uma forma colaborativa entre os usuários do ROA. Os ROAs devem fornecer ao usuário uma forma para que os mesmos possam coletar OAs interessantes, encontrados por exemplo, para revisar *a posteriori*, compartilhar com outras pessoas, discutir ou colaborar.
- Página de metadados: A página de metadados é a página que descreve o OA que os usuários encontraram por meio de pesquisa ou navegação. O objetivo central da página é fornecer uma visão geral das informações sobre o OA e apresentar possibilidades de usar/interagir. É também aqui que a maioria das possibilidades de interação com uma OA são fornecidas - incluindo aquelas que não estão disponíveis em uma lista de resultados de pesquisa.
- Página inicial do ROA: Uma *homepage* deve satisfazer as necessidades de todos os usuários em potencial e atuais, identificando a organização e ao mesmo tempo fornecendo várias maneiras de navegar, ou seja, fornecendo vários mecanismos de busca;

- Manter os usuários atualizados: Os usuários podem precisar manter-se atualizados dentro de uma área temática específica abrangida pelo ROA;
- Configurações pessoais ou conta pessoal: Os usuários registrados precisam ver e gerenciar as informações que um ROA mantém sobre eles.
- Editores de metadados: Os provedores de conteúdo precisam ser capazes de registrar seus OAs de uma maneira que tornem os OAs encontráveis para usuários finais, bem como incluir informações suficientes para o usuário final decidir se o material é relevante;
- Implementação de metadados gerado por usuário: Estratégias para implementar metadados gerados pelo usuário, como classificações, comentários e marcações, variam consideravelmente através dos repositórios de aprendizagem;
- Armazenamento de metadados descritivos: Quando os usuários depositam conteúdo, eles são obrigados a fornecer metadados descritivos para seus OAs. As páginas/ferramentas para fazer isso atualmente variam de formas muito simples, para uso de ferramentas de marcação autônomas complexas.

Esses critérios também foram utilizados em uma abordagem mais recente do MCEQLS chamada NEWS MCEQLS (KURILOVAS; VINOGRADOVA; KUBILINSKIENE, 2016), para avaliar as funcionalidades dos ROAs e a sua qualidade de uso. Para isso foi utilizado o método AHP-Fuzzy, ambos para estabelecer os pesos dos critérios de qualidade de uso do ROA de acordo com a exigência de normalização. Alguns dos critérios utilizados pelos autores, também foram utilizados na presente pesquisa. Os critérios utilizados no método MCEQLS foram baseados nas normas de qualidade de software da ISO (STANDARDIZATION, 2016). O trabalho dos autores é interessante, porém nele não é considerada a necessidade do usuário, expressa em valores para os critérios utilizados, em relação ao disponibilizado pelos ROAs. A modelagem de uma variável, que atenha-se a essa consideração, e que é utilizada nos métodos propostos nesse trabalho, é um de seus diferenciais.

Além de pesquisas envolvendo formas de avaliação de ROAs, há outras tratativas buscando reduzir ou eliminar o desperdício de tempo que o usuário leva para encontrar um ROA e selecionar um OA do seu interesse e melhorar a precisão da tomada de decisão utilizando os metadados dos objetos de aprendizagem. Para esse problema, Yigit, Isik e Ince (2014a) utilizou o método "*Analytic Hierarchy Process*"(AHP). Os autores desenvolveram o ROA (SDUNESA) (YIGIT; ISIK; INCE, 2014a) para selecionar OAs adequados. AJAX, XML e SOA Web Services foram usados neste software que é especialmente desenvolvido para a educação em engenharia da computação. Os critérios utilizados pelo método AHP foram definidos de acordo com as prioridades

em informática e educação. Porém, os autores não apresentaram de forma explícita os critérios ou se os mesmos baseiam-se em alguma norma de qualidade, como no presente trabalho.

Em outro trabalho, para resolver a mesma questão do anterior, Yigit, Isik e Ince (2014b) os autores utilizaram o *software* ROA SDUNESA baseado na web 2.0 para armazenar, compartilhar e selecionar um OA adequado no repositório. Os autores definiram com mais clareza seus critérios, que foram baseados em metadados. Foram eles: tipo de recurso de aprendizagem, formato, dificuldade, nível de interatividade, densidade semântica, função pretendida do usuário final e estrutura. Dos critérios estabelecidos no trabalho desses autores, dois foram utilizados na abordagem proposta (Tipo de recursos e formatos).

Para İnce, Yiğit e İşık (2017), utilizar um método híbrido com AHP e "*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*" (TOPSIS) foi a melhor maneira para prevenir as dificuldades de tempo na seleção de conteúdo eletrônico (OA) em decorrência da quantidade massiva de OA armazenados nos Repositórios de Objetos de Aprendizagem. Os critérios usados naquele trabalho, foram: Tipos de recursos (figuras, exercícios, simulação e etc), formatos (texto, html, pdf e etc), dificuldade relacionada a seleção e ao uso pra o usuário, nível de interatividade e densidade semântica. Ainda, os autores utilizaram outro método híbrido, combinando AHP com algoritmo genético. O AHP foi utilizado para produzir pesos para cada critério, como parâmetros de pesquisa a serem usados no algoritmo genético que calcula a adequação do ROA à solução do problema.

Başaran (2016) realizou uma revisão de vários métodos MCDM para a seleção dos mais adequados OAs, bem como também destacou as variáveis que vem sendo utilizadas para a seleção e avaliação de OAs e ROAs. A finalidade do estudo visa avaliar OAs utilizando a similaridade entre a distância do OA e a solução ideal, adaptada do método *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), com suporte da lógica fuzzy, trabalhando os números *fuzzy* triangulares trapezoidais. Os critérios utilizados foram divididos em três categorias, são elas: 1. Qualidade da tecnologia (reutilização, design e usabilidade, robustez, arquitetura); 2. Critérios pedagógicos (nível de interação, portabilidade da linguagem e facilidade de uso) 3. Direitos de propriedade intelectual (licenciamento e custo).

Observa-se que os critérios utilizados nos trabalhos apresentados, variam de acordo com o que está sendo proposto. No caso do trabalho de Lara, Delgado e Marín (2013), que aborda o problema que os ROAs enfrentam de falta de padronização e gerenciamento de conteúdo, observa-se que mesmo que haja descrições nos metadados, essas informações podem ser incertas para o usuário. Diante desse problema os autores propuseram fornecer um sistema inteligente que permita aos usuários analisar

o tipo de objeto de aprendizagem que melhor se ajusta a sua maneira de aprender, desenvolvendo e implementando uma técnica *Data Warehousing* (DW) *Online Analytical Processing* (OLAP) para integrar a teoria dos conjuntos difusos e facilitar a extração do conhecimento. Nesse caso, os critérios utilizados foram: faixa etária, grau dificuldade, duração, data de criação, tipo de interatividade, nível de agregação, contribuição e ciclo de vida, localização, classificação taxonômica do caminho, contexto ou escopo, nível de interatividade e finalmente, densidade semântica

No trabalho de Huang, Chen e Zhang (2017), foi empregada a teoria de conjuntos *fuzzy* à fusão de similaridade para colaboração entre repositórios. Com isso, os autores puderam concluir que é possível melhorar a qualidade dos ROAs e o trabalho colaborativo entre eles. Também observaram que com as regras de fusão, as diferentes fontes de conhecimento se completam, aumentando assim a confiabilidade da escolha do ROA.

É notável que em todos os trabalhos que envolveram métodos multicritério, houve o levantamento de indicadores/ critérios/ variáveis, para definir o que se pretende resolver. No método proposto, nesse trabalho, os critérios escolhidos foram baseados na norma de qualidade de software ISO 25010. Particularmente, foram utilizados os que puderam ser quantificados, uma vez que não é uma tarefa simples atribuir valores para variáveis subjetivas (KURILOVAS; VINOGRADOVA; KUBILINSKI-ENE, 2016).

Para cada Indicador selecionado para esse estudo foram atrelados critérios que possuem características que foram contabilizadas a medida que foram encontrados nos ROAs. Os Indicadores são Funcionalidade, Usabilidade e Confiabilidade, sendo que para cada Indicador são compostos por critérios:

- Armazenamento: Variadas formas de armazenamento dentro dos ROAs, seja apenas para armazenar OAs, link para *sites* de externos e etc;
- Colaboração: Meios para que o usuário troque informações nos ROAs;
- Conta: Permissão para o usuário criar uma conta, gerenciar e etc.
- Navegação: quantidade formas de navegação para o usuário como por exemplo formulário de pesquisas simples e avançado, página com lista de resultado e etc.
- acessibilidade: O quanto o ROA consegue disponibilizar a todos os tipos de usuários, seja libras para surdos, ou legenda fornecida para video, tags alt fornecidas para imagem e outros que podem ser contabilizados;
- Interface: Se o ROA informa sua (as) temática (as) e mantém os usuários atualizados;

- Metadados: Quantidade informações contidas nos metadados, como direitos autorais, as descrições, ficha técnica e pedagógicas entre outras informações. Essas informações são cruciais pois aumentam a confiabilidade para se usar os recursos de aprendizagem;
- Recursos: É caracterizada em relação à disponibilização de tipos de recursos (imagens, simulação, infográficos, etc) e
- Formatos: (texto, pdfs, html e etc). Quanto mais tipos de recursos e formatos o ROA oferecer, maiores são as chances de serem compatíveis em outras plataformas, assim como sistemas operacionais;

Tabela 11 – Trabalhos Relacionados

Trabalhos	Métodos	Critérios	Req	ROAs	Objetivo
[Kurillovas 2009]	Lógica Fuzzy	baseado nas norma de qualidade da ISO	Não	01	Selecionar nos ROAs, OAs de qualidade
[Kurillovas e Dagiene 2011]	Lógica Fuzzy	baseado nas norma de qualidade da ISO	Nao	01	Selecionar nos ROAs, OAs de qualidade
[Kurillovas 2013]	Lógica Fuzzy	baseado nas norma de qualidade da ISO	Não	–	Selecionar nos ROAs, OAs de qualidade
Lara Et al.(2013)	Lógica Fuzzy	baseado nos metadados	Não	01	gerenciamento em ROAs
[Kurillovas 2014]	Lógica Fuzzy	baseado nas norma de qualidade da ISO	Não	01	Metodologia para avaliar o comportamento de aluno com OAs
Ygitit et al. (2014)	AHP	baseado nos metadados	Não	01	Desempenho na busca por OAs dentro dos ROAs
[Basaran 2016]	TOPSYS, Lógica Fuzzy	baseado nas norma de qualidade da ISO e em metadados	Não	–	MCDA para seleção e avaliação em OA e ROA
Kurillovas et al. (2016)	FAHP	baseado nas norma de qualidade da ISO	Não	03	Encontrar o mais adequado ROA
Ince et al. (2016)	FAHP	baseado nas norma de qualidade da ISO	Não	01	Encontrar o mais adequado OA
Huang et al. (2017)	Lógica Fuzzy	baseado nos metadados	Não	01	Melhorar a eficiência
Ince et al. (2017)	AHP, TOPSYS	baseado nos metadados	Não	01	Desempenho no processo de produção de OA.
Andrews et al. (2018)	AHP	baseado nas norma de qualidade da ISO	Não	01	Ferramenta para gerenciamento
Ince et al.(2019)	AHP, Algoritmo genético	baseado nos metadados	Não	01	Avaliação e seleção dos OA nos ROAs

Proposta	DEA, AHP e FAHP	baseado nas normas de qualidade da ISO	Sim	40	Uma arquitetura com MCDM para seleção de ROAs, Avaliar sua eficiência e raquear-lo de acordo com a variável de requisição do usuário
----------	-----------------	--	-----	----	--

Fonte: Autoria própria

A Tabela 11 sumariza as características para fins de comparação entre os trabalhos relacionados com a arquitetura proposta. As características identificadas apresentadas na tabela são:

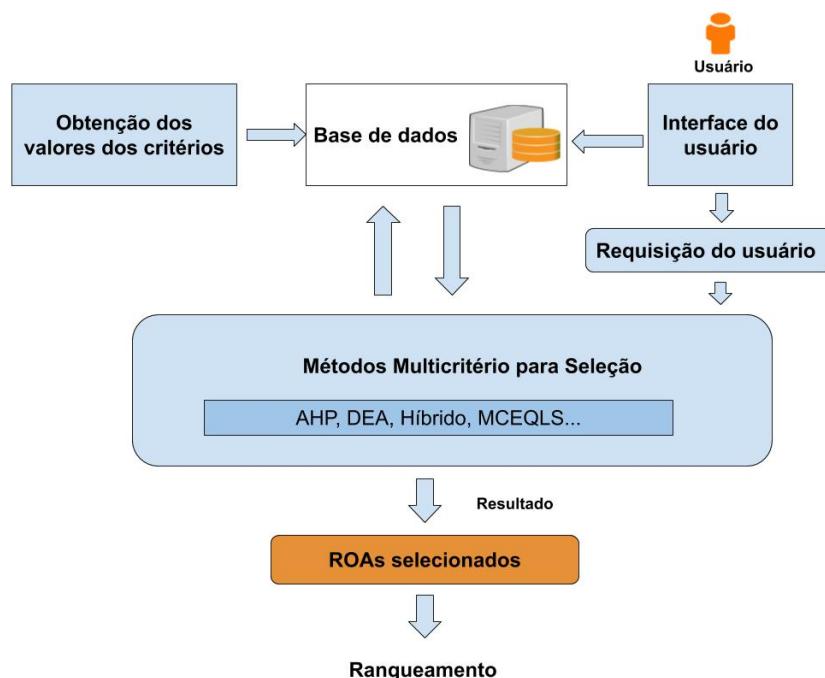
- **Método:** Os principais métodos multicritérios utilizados para realizar avaliação e seleção tanto de ROAs como OAs;
- **Critérios:** Apresenta a base para encontrar os critérios para avaliação em ROA, geralmente em uma abordagem multicritério, os autores utilizam critérios baseados nos metadados dos OAs, outros baseados na norma de qualidade da ISO;
- **Req:** Trabalhos que usaram a métrica ou alguma variável que avalie a requisição do usuário a respeito de um ROA. Pode-se observar que geralmente os trabalhos relacionados não usaram nem uma métrica para medir o atendimento do ROA em relação aos usuários;
- **ROAs:** Quantidade de ROAs que foram avaliados utilizando, MCDM ou MCDA. Nos trabalhos selecionados, não foi encontrado nem um trabalho com uma grande proporção de ROAs com métodos de tomada de decisão exceto pela presente proposta que avaliará 40 ROAs.
- **Objetivo:** Finalidade de cada trabalho incluindo a arquitetura proposta.

A avaliação de ROAs a ser executada, é semelhante em alguns aspectos com a utilização de métodos de avaliação disponíveis na literatura técnica avaliada, no sentido de que é imprescindível em trabalhos que utilizem métodos multicritério de tomada de decisão como ferramenta de avaliação, a definição de variáveis e a escolha do método a ser utilizado. Contudo neste trabalho, diferentemente dos trabalhos relacionados avaliados, foi criada uma variável relacionada a verificação do atendimento da necessidade do usuário (utilizando-se para tanto de informação fornecida pelo usuário como uma requisição com valores de critérios necessários). As demais variáveis, critérios ou indicadores são baseadas na norma de qualidade *software* ISO. Ainda, um diferencial deste trabalho encontra-se no fato da utilização de dados reais provenientes de 40 ROAs (entre nacionais e internacionais), enquanto na maioria dos trabalhos relacionados esse número é bem menor. Por exemplo, Kurilovas, Vinogradova e Kubilienskiene (2016), aplicou o método desenvolvido em apenas três ROAs europeus.

3 ARQUITETURA PROPOSTA

A Figura 3 apresenta um *overview* da arquitetura de avaliação de ROAs proposta. A arquitetura conta com uma base de dados contendo os dados dos ROAs relativos aos Indicadores elencados anteriormente, armazenando os valores dos critérios e características que os compõe. Esses valores, buscados manualmente (nesse trabalho) direta e individualmente nos ROAs avaliados candidatos a seleção, juntamente com os dados representando uma requisição vinda do usuário, passam por um método de seleção que avalia os dados dos ROAs disponibilizando como resposta um conjunto de ROAs com seus *scores* avaliados numericamente. Na próxima etapa/módulo da arquitetura é realizado o ranqueamento desse conjunto de ROAs de acordo com determinadas regras, disponibilizando ao final, o mais adequado para o usuário. O usuário terá uma interface pela qual poderá selecionar as características/critérios que deseja da base de dados, provendo os valores que deseja, e desta forma realizando as requisições que serão aplicadas aos métodos, e que representam sua necessidade em relação ao ROA a ser selecionado/utilizado.

Figura 3 – Arquitetura Proposta



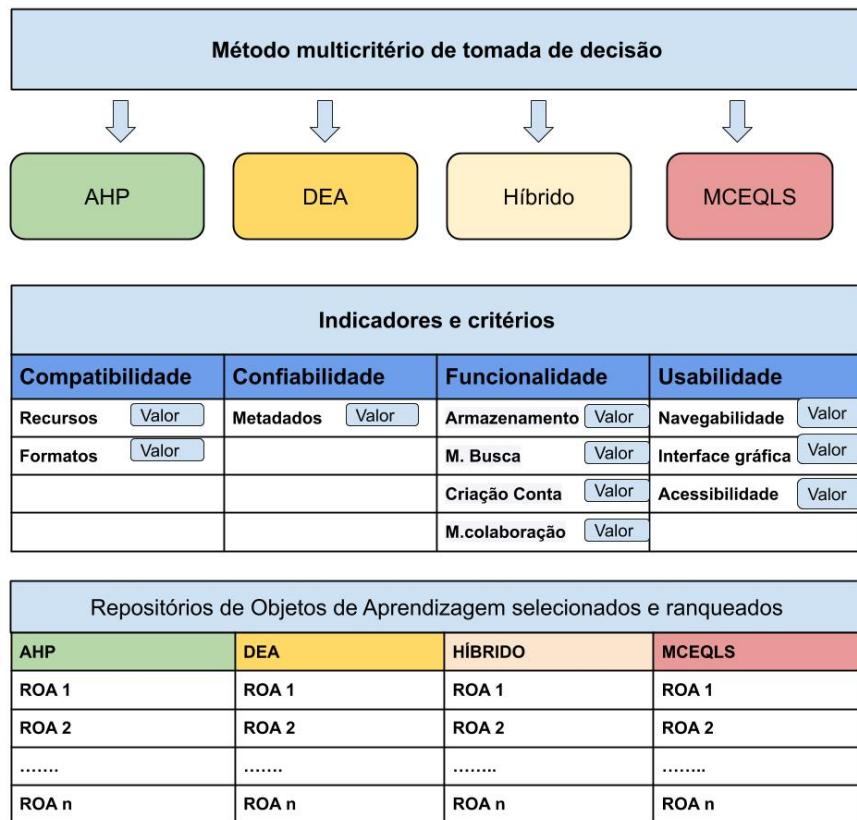
Fonte: Autoria própria

Na instanciação da arquitetura para fins de avaliação da mesma, os méto-

dos utilizados, serão os seguintes métodos multicritério: análise envoltória de dados (DEA), processo de análise hierárquica (AHP), método híbrido AHP-DEA desenvolvido neste trabalho, e o método MCEQLS da literatura técnica, que utiliza o AHP-Fuzzy. Assim, tais métodos serão comparados em termos dos resultados alcançados. A arquitetura de cada um desses métodos será apresentada nas próximas seções.

A Figura 4 demonstra uma proposta de modelo de interface gráfica web ou *standalone* para o usuário. Por meio dessa interface o usuário poderá realizar suas reuniões, escolhendo os Indicadores e a quantidade de critérios requeridos utilizando o botão valor. Após a entrada de dados os métodos serão executados (AHP, DEA, Híbrido e MCEQLS) e a interface gráfica, em sua porção inferior exibirá na sequência o ranqueamento dos ROAs de acordo com cada método.

Figura 4 – Interface



Fonte: Autoria própria

3.1 MÉTODOS DE SELEÇÃO

Distintos critérios, podem ser contemplados pela arquitetura proposta. Uma vez que o trabalho do método de seleção é atribuir um determinado valor de avaliação (*score*) para cada um dos ROAs sendo avaliados, basta que novos métodos sejam capazes de receber a requisição do usuário, bem como os dados necessários e disponíveis da base de dados e fornecer um conjunto ou lista de ROAs com seus respectivos *scores*. Particularmente, nesse trabalho a arquitetura proposta contempla a proposição de três distintos métodos multicritério de avaliação (tomada de decisão). Um deles busca avaliar a eficiência relativa dos ROAs envolvidos de acordo com uma série de Indicadores/critérios. Essa avaliação utiliza-se do método DEA. O segundo método busca explorar a ligação hierárquica entre esses Indicadores e todos os ROAs, por meio de todas as características e valores de critérios armazenados na base de dados de todos os ROAs envolvidos. O terceiro método engloba os dois anteriores como um método híbrido em duas etapas. Assim, tanto a característica hierárquica quanto a eficiência relativa são levadas em consideração para a geração do *score* final de cada ROA. Nesse caso, a saída do método AHP torna-se entrada para o método DEA. Além destes métodos propostos, este trabalho também executa avaliação dos ROAs utilizando-se de método já proposto na literatura, que também é um método híbrido envolvendo AHP com lógica nebulosa (*fuzzy*), conhecido como AHP-Fuzzy.

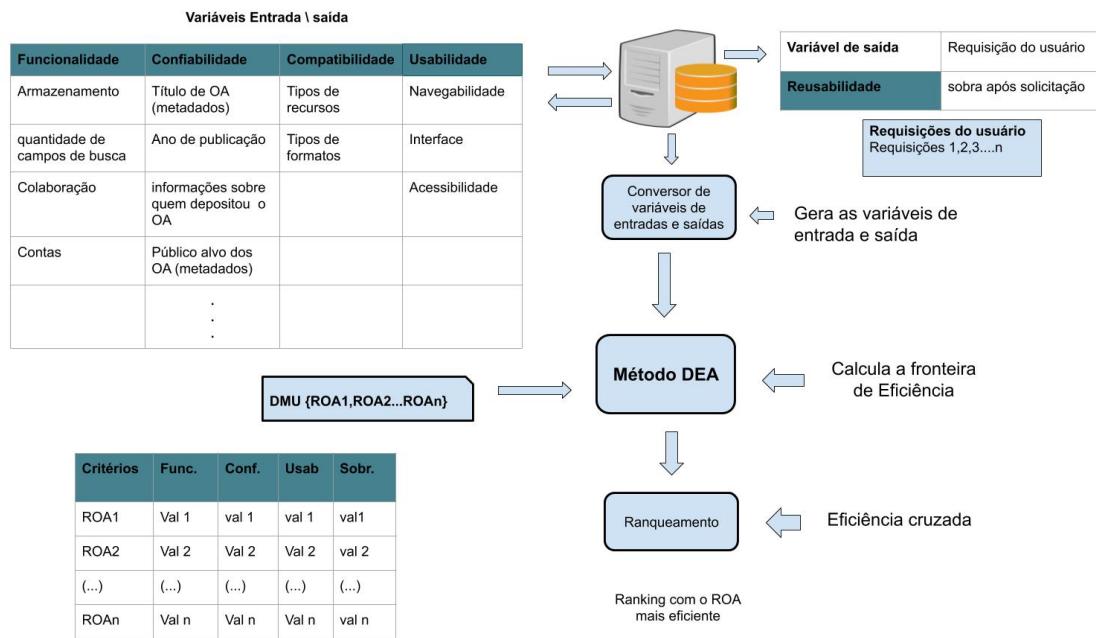
3.1.1 Avaliação de eficiência em ROAs com método DEA

Esta seção propõe um método de seleção e ranqueamento de repositórios de objetos de aprendizagem, baseado na análise da eficiência relativa entre os repositórios envolvidos. Para tal, é utilizado o método multicritério de tomada de decisão DEA que apresenta as eficiências relativas disponibilizando uma fronteira de eficiência, ou seja, um conjunto de ROAs cuja eficiência é 100% em comparação com os demais (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

A Figura 5 representa a arquitetura do método de seleção e ranqueamento proposto, contendo os módulos desenvolvidos e suas interações. Sinteticamente, o primeiro passo na efetivação do método proposto é analisar as DMUs (ROAs), de forma a coletar os dados brutos relativos à quantidades de objetos, padrões, metadados, etc., ou seja, os valores dos critérios que compõe os Indicadores como mencionados na Seção 2.5, necessários à geração dos valores das variáveis de entrada e saída para o método DEA. Como padrão para o método DEA os Indicadores serão denominados de variáveis. Os dados relativos a cada um dos ROAs candidatos à seleção são armazenados na base dados da arquitetura de avaliação proposta, posteriormente utilizada por outro módulo da arquitetura do método proposto. Com a base

de dados alimentada, o módulo conversor de entradas e saídas, utiliza esses dados para gerar, para cada DMU (ROA), os valores relativos para as variáveis de entrada e saída utilizadas. Uma vez que as DMUs envolvidas possuem seus valores de entrada e saída fornecidos pela base de dados, o DEA é aplicado gerando um conjunto de ROAs na fronteira de eficiência. Nesse sentido, caso a fronteira de eficiência possua mais de um ROA tido como eficiente, então é executado o módulo de ranqueamento entre eles.

Figura 5 – Arquitetura de um método proposto utilizando DEA



Fonte: Autoria própria

3.1.1.1 Convertendo E/S para o DEA

Para a geração da fronteira de eficiência, envolvendo todos os ROAs candidatos, por parte do método DEA, características essenciais recolhidas através da análise individual de cada um dos repositórios (disponível na base de dados), bem como o desejo do usuário em relação ao ROA a ser escolhido, devem ser convertidas, em valores de variáveis de entrada e saída. Cada ROA, por sua vez, tem o mesmo número predefinido e constante de entradas e saídas.

As variáveis de entrada e saída modelam a dinâmica de eficiência associada às DMUs. Particularmente, para o problema de selecionar e ranquear o mais adequado ROA, utilizando o DEA, foram utilizadas cinco variáveis (Indicador) assim justificadas:

- Funcionalidade: É utilizada como uma variável de entrada. Sua escolha refere-se ao grau de dificuldade de encontrar os recursos em ROAs. Ou seja, quanto maior o indicador menor o grau de dificuldade, ou seja, mais funcional se torna o ROA. O estudo de Zervas, Alifragkis e Sampson (2014) elaborou e analisou uma lista de 21 funcionalidades e sua adoção em ROAs. Os autores conseguiram a adoção dessas funcionalidades aos ROAs estudados bem como uma série de outros indicadores relacionados a influência, crescimento e número de usuários registrados nos ROAs (ZERVAS; ALIFRAGKIS; SAMPSON, 2014). Além disso afirmaram que a funcionalidade é uma característica relevante, pois ajuda na organização e compartilhamento dos conhecimentos explícitos e tácitos de comunidades educacionais. No trabalho de Kurilovas, Vinogradova e Kobilinskiene (2016), os autores criaram metodologia para avaliar a qualidade e a funcionalidade dos recursos e levantaram critérios que melhor definem a funcionalidade nos ROAs. Entre eles estão os mecanismos de busca, o armazenamento dos OAs e recursos, se existem formas para o usuário colaborar, visualização do OA antes de ter que fazer *download* e criação de uma conta ou perfil para o usuário gerenciar tantos os recursos que armazena como os que adquire.
- Confiabilidade: Esse Indicador foi escolhido como variável de entrada por ser importante para qualificar a utilização dos ROAs e consequentemente dos OAs digitais envolvidos. Tal qualificação não só fornece impacto para o mercado educacional, mas também aumenta a qualidade nas práticas de ensino e aprendizagem. Os metadados relacionados aos OAs e presentes nos ROAs são fundamentais para garantir a confiabilidade, pois lá estão contidas informações como o título do objeto, ano que foi publicado, os nomes dos autores que disponibilizaram o OA e descrição de para que público é direcionado o objeto.
- Compatibilidade: É uma variável que diz respeito aos tipos de recursos e os formatos que se adaptam a outras plataformas de ensino e aprendizagem e que sejam fáceis de serem instalados. Segundo a norma de qualidade (STANDARDIZATION, 2016) um produto ou *software* pode ser eficaz e eficientemente adaptado para hardware, software ou outro ambiente operacional ou de uso diferente ou em evolução. Portanto, o grau de adaptação mede a compatibilidade do recurso.
- Usabilidade: É uma variável de saída que avalia os ROAs quanto a sua interface gráfica, naveabilidade e acessibilidade, de forma que permita ao usuário encontrar recursos de qualidade gerando satisfação para o mesmo. Dentro da norma de qualidade de *software* a acessibilidade é uma sub característica de usabilidade (STANDARDIZATION, 2016) e é uma das formas de avaliação do instrumento Lori (NESBIT; BELFER; LEACOCK, 2003), para avaliar se os OAs

são utilizáveis para pessoas com deficiência, como por exemplo: legenda fornecida para vídeo; transcrição para arquivo de vídeo; tags alt para imagens e percepção de cores. A Usabilidade é uma área muito envolvida em pesquisas e gera estudos significativos em ROAs. Um desses estudos foi desenvolvido por leiri e Braga (2016) que utilizou o método Bruno Munari para desenvolvimento de um protótipo de alta fidelidade *Lo-fi* (do inglês "*low-fidelity*") para criar uma interface intuitiva fácil de utilizar. A escolha do método deu-se devido os problemas de usabilidade que podem ser obstáculos e que tornam a reutilização dos OAs no repositórios muito difícil. Já Ishak e Noor (2017) realizaram uma avaliação heurística nas interfaces de alguns ROAs atuais com a finalidade de encontrar problemas de usabilidade e sugerir melhorias. A metodologia utilizada, foi a construção de um questionário heurístico e a obtenção dos resultados médios para cada elemento heurístico de cada ROA. Em vista disso a usabilidade é uma variável/critério indispensável para uma avaliação em ROAs.

- Reusabilidade: Essa variável foi criada para medir a quantidade de recursos ainda disponíveis após a requisição do usuário ter sido atendida. Dessa forma, quanto melhor um ROA conseguir atender o usuário melhor ele será, ou seja, quanto mais recursos “sobraria” no ROA, melhor, por que pode atender a requisição de diferentes usuários e serem reutilizados. A Equação 3.5 representa com clareza a construção dessa variável.

A Tabela 12 apresenta as variáveis (Indicadores) utilizadas pelo método proposto de acordo com as critérios essenciais que os compõem, conforme justificado e de acordo com a análise de trabalhos relacionados e estudo da norma ISO 25010. Os critérios apresentados são responsáveis por em última análise apreender/contabilizar os valores das variáveis (entrada e saída) cujos nomes correspondem as características de avaliação já elencadas no Capítulo 2.

Tabela 12 – Variáveis para Avaliação da Eficiência Relativa

Indicadores	Critérios
Funcionalidade	Armazenamento, Mecanismos de Busca, Conta particular, Meios colaborativos.
Confiabilidade	Descrições dos metadados
Compatibilidade	Tipos de recursos e formatos
Usabilidade	Navegabilidade, Interface gráfica, Acessibilidade = legenda, transcrição, tags Alt para imagens e gráficos.
Reusabilidade	Critérios requisitados pelos os usuários, menos a quantidade de recursos, dividido pela média ponderada de todos os critérios.

Fonte: Autoria própria

3.1.1.2 Variáveis de entrada (*Critérios a minimizar*)

Uma vez definidas as variáveis é necessário definir como de fato elas são calculadas, de forma a converter valores dos critérios nos valores das variáveis utilizadas pelo DEA.

Funcionalidade: Esta variável é composta pela quantidade de formas nas quais o usuário pode armazenar seus recursos educacionais, sejam OAs, links para sites externos, se o ROA permite o armazenamento somente de metadados; a quantidade de mecanismos de busca oferecidos para ajudar o usuário encontrar os recursos de forma ágil, sejam por área de conhecimento, por tipo de recursos, etapas de ensino, palavras-chaves, autores, idioma, título, assunto, coleções, url e etc. A quantidade de campos preenchidos nos metadados de cada OA, torna o ROA funcional auxiliando na descrição de modo que pode-se decidir se deve-se usar ou não um OA. Também são considerados critérios que compõe a característica/indicador Funcionalidade se o ROA permite que a criação de uma conta para que o usuário possa ter seu espaço para organizar seus recursos, bem como possibilita colaboração entre os usuários com meios que possibilitem a ele comentar, postar, avaliar e etc., por exemplo por meio de e-mails, rede sociais ou um espaço no próprio ROA.

A Equação 3.1 apresenta o cálculo do valor da variável Funcionalidade de um ROA. Ela caracteriza-se pela soma dos valores de: armazenamento de OA (Ar), campos de busca (Cb), criação de conta particular no ROA (Cp) e quantidade de meios para colaboração (Cl) que o repositório oferece. O valor total é normalizado pela funcionalidade máxima do conjunto de DMUs (ROAs) (max_F).

$$\begin{aligned} f_j &= (Ar_j + Cb_j + Cp_j + Cl_j) \\ max_F &= \max\{f | f \in \cup_{j=1}^n f_j\} \\ F_i &= \frac{f_i}{max_F} \end{aligned} \tag{3.1}$$

Confiabilidade: Essa variável é composta pela soma dos campos contidos nos metadados dos OAs, como por exemplo: O título do objeto (To), ano que foi publicado (Ap), autoria (Da), se possuem informação para qual público (Pu) aquele objeto é direcionado (aluno, professores, gestores, consultor, desenvolvedor e etc.) e outros campos descritivos se houver. Para cada um dos campos preenchidos foi atribuído o valor 1 e o valor 0 para os campos não preenchidos.

A Equação 3.2 apresenta o cálculo da variável Confiabilidade para um ROA, ou seja, a soma do critérios (To), (Ap), (Da) e (Pu). A normalização ocorre em função

da confiabilidade máxima (max_C) do conjunto de ROAs candidatos.

$$C_i = \frac{To_i + Ap_i + Da_i + Pu_i}{max_C} \quad (3.2)$$

Compatibilidade: Tem a ver com a quantidade de tipo de recursos (Re) e formatos (Fo) de objetos de aprendizagem que o ROA disponibiliza. Assim, é levado em consideração se o ROA possui informações nos OA relativamente a em quais sistemas operacionais os OAs são instaláveis e se os OAs tem portabilidade em outros dispositivos. Essa variável é importante pois evita problemas com interoperabilidade (OCHOA; CARRILLO; CECHINEL, 2014). Para cada uma desses critério foi atribuído o valor um, que somadas representam o valor para a variável compatibilidade. A normalização da variável Compatibilidade é calculada pela compatibilidade máxima de todos os ROAs, conforme a Equação 3.3.

$$Cpt_i = \frac{Re_i + Fo_i}{max_{Cpt}} \quad (3.3)$$

3.1.1.3 Variáveis de saída (Critérios a maximizar)

Usabilidade: É considerada uma variável de saída cujo propósito é a otimização da experiência do usuário. Para o cálculo dessa variável, a navegabilidade dos ROAs se quantifica se os mesmos possuem formulário de pesquisa simples e avançado, se lista os resultados das pesquisas, opções de classificação e filtragem, adição a favoritos, compartilhamento, comentários, etc, e se facilitam a navegação nos ROAs (KURILOVAS; VINOGRADOVA; KUBILINSKIENE, 2016). Já a interface gráfica se qualifica se o ROA mantém o objetivo central, deixando de forma explícita sua área temática, mantendo os usuários informados sobre os novos conteúdos, atualização sobre as atividades, boletins ou informativos por e-mail e fornecimento de *widgets*. Portanto, o valor da navegabilidade será o somatório dos critérios destacados. Importante ressaltar que na coleta dos valores desses critérios junto aos ROAs é atribuído o valor 1 caso o ROA atenda positivamente as condicionais impostas pelos critérios, e 0, caso contrário. Ou seja, se o ROA avaliado possui formulário de pesquisa simples e avançado, esse critério formulário de pesquisa, recebe o valor 1, e 0, caso contrário. O mesmo ocorre para os demais critérios envolvidos.

A acessibilidade do ROA é outro critério levado em consideração relativamente à sua Usabilidade. A acessibilidade está em conformidade com o instrumento de avaliação LORI (NESBIT; BELFER; LEACOCK, 2003) e é formada pelos critérios: legenda fornecida para vídeo; transcrição fornecida para arquivos de áudio ou libras; tags Alt fornecidas para imagens; e se os gráficos exigem que a percepção de cores seja entendida. Assim, por meio da coleta de dados junto aos ROAs, quando um desses crité-

rios de Acessibilidade é satisfeito, atribui-se o valor 1 e 0, caso contrário. Desta forma, o valor da critério Acessibilidade será o somatório de suas características elencadas.

Assim, para quantificar a variável Usabilidade, é utilizada a pontuação coletada no ROA pela avaliação em relação aos seguintes critérios: Navegabilidade (Na_i), Interface (Int) e Acessibilidade (Ac). Contudo, esses valores precisam ser normalizados, e para isso a Usabilidade de cada um dos ROA é dividida pela Usabilidade máxima do conjunto de ROAs, conforme Equação 3.4, onde U_i representa o valor de Usabilidade do ROA i e max_U é a maior Usabilidade dentre o conjunto de ROAs.

$$U_i = \frac{Na_i + Int_i + Ac_i}{max_U} \quad (3.4)$$

Reusabilidade Essa variável corresponde a média ponderada de todos os critérios que virtualmente restariam no ROA, após o usuário realizar uma requisição relativa aos ROAs. Essa variável modela quão melhor é atendida a requisição do usuário em função da maior quantidade de opções, em termos de um conjunto finito de critérios que o ROA disponibiliza. Assim, quanto maior a diferença entre que o ROA oferece e o que o usuário deseja, melhor.

Dentro do conjunto de critérios, o usuário pode solicitar: tipos de recursos, formatos, metadados, criar uma conta particular para gerenciar seus recursos, um meio de colaborar com outros usuários seus OAs, armazenar seus OAs, pode querer um ROA que tenha acessibilidade, uma boa interface e naveabilidade. Dessa forma o usuário pode solicitar um, dois ou mais critérios disponíveis na base de dados e querer uma quantidade exata para esses critérios, ou seja n tipos de recurso, n formatos e etc. Assim o valor atribuído para reusabilidade, é formado por n tipos de Reusabilidade diferentes e sua normalização é mostrada na Equação 3.5. Onde a Reusabilidade é modelada pela quantidade de recursos menos o que foi requisitado pelo usuário, da mesma forma é feita com o Formato, que é calculado pelo quantidade disponível no ROA menos o que foi solicitado e assim sucessivamente com a colaboração. Os valores que restaram para cada critério após a requisição, são somados e extraída a média. Com essa modelagem encontra-se o valor da variável Reusabilidade.

$$\begin{aligned}
 ReusoRecursos &= \begin{cases} \frac{Re_i - reqRe}{max(Re)} & \text{se } Re_i \geq reqRe \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \\
 ReusoFormato &= \begin{cases} \frac{Fo_i - reqFo}{max(Fo)} & \text{se } Fo_i \geq reqFo \\ 0 & \text{senão} \end{cases} \\
 ReusoColaboracao &= \begin{cases} \frac{Co_i - reqCo}{max(Co)} & \text{se } Co_i \geq reqCo \\ 0 & \text{senão} \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$RS_i = \frac{(ReusoRecursos * p_r) + (ReusoFormato * p_f) + (ReusoColaboracao * p_c)}{3} \quad (3.5)$$

A quantidade de critérios disponibilizados pelo i-ésimo ROA é representada por Re_i , Fo_i , Co_i , ou seja pelos critérios que o mesmo solicita, todos os critérios devem estar presente na base de dados. Por outro lado, a requisição acerca da quantidade mínima de critérios que é desejada pelo usuário é representada por ($reqRe$), e $max(Re)$ representa o maior número de tipo de recursos abrangidos pelo conjunto dos ROA envolvidos. Já Fo_i representa a quantidade de formatos de OA do i-ésimo ROA, $reqFo$ diz respeito ao valor mínimo requisitado pelo usuário acerca da quantidade de formatos de OA que o ROA em análise deve disponibilizar. Além disso, $max(Fo)$ representa a maior quantidade de formatos de OA disponibilizada pelo conjunto de ROAs. Formalmente, seja $Fo = \{fo_1, fo_2, \dots, fo_n\}$, o conjunto da quantidade de formatos de OA disponibilizada por cada um dos n ROA envolvidos. Assim, $max(Fo)$ é auto explicável. A quantidade de formas de colaboração abrangidas pelo i-ésimo ROA é representada por (Co_i), e a requisição acerca da quantidade mínima de formas de colaborar que é desejada pelo usuário é representada por ($reqCo$), e $max(Co)$ representa o maior número de formas de colaboração abrangidas pelo conjunto dos ROA envolvidos. Além disso, p_r , p_f , p_c representam os pesos associados a quantidade de tipos de recursos, formatos e formas de colaboração, respectivamente. Para o propósito desse trabalho, os pesos foram considerados idênticos com valor 1.

Para o ranqueamento foi utilizado a média da avaliação cruzada para cada um dos ROAs, com esse valor realiza-se o desempate entre elas. O processo de avaliação cruzada está explicado na Seção 2.4.2.

3.1.2 Avaliação com Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Esta seção apresenta um método de avaliação baseado no processo de análise hierárquica com o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), partindo de um nível

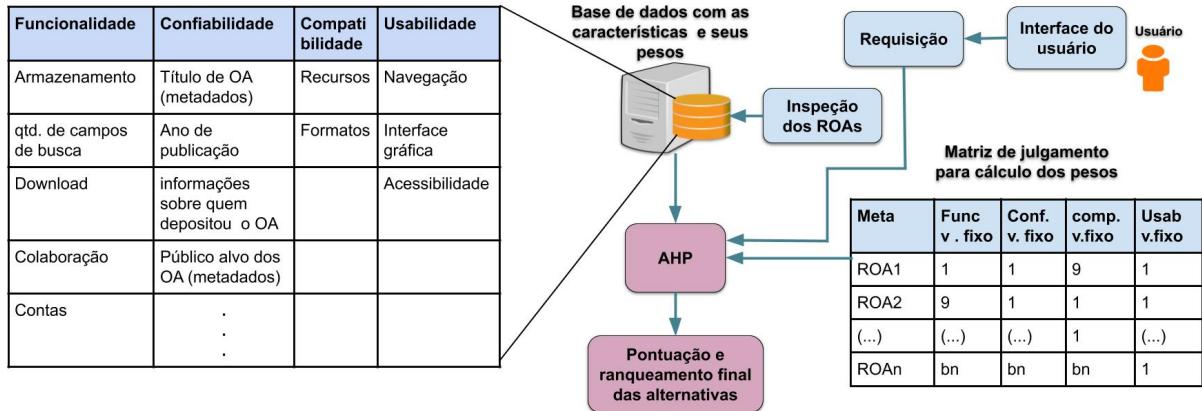
mais controlável (Objetivo) para níveis menos controláveis e específicos; no caso os critérios e as alternativas. Ele é um método do tipo de dividir e conquistar realizando várias comparações entre o objetivo e critérios e entre os critérios e alternativas. Posteriormente, o método proposto pontua as alternativas apresentando-as ordenadas de forma a auxiliar a decisão de seleção por parte do usuário. A hierarquia pode ser composta por critérios (indicadores ou conforme utilizado nesse trabalho, características) com seus respectivos valores e suas alternativas (Repositórios de Objetos de Aprendizagem). Os indicadores utilizados nesse trabalho foram Funcionalidade, Compatibilidade, Usabilidade e Confiabilidade. Esses indicadores ou características são as características apresentadas e justificadas no Capítulo 2, representando as características de avaliação de software de acordo com a norma ISO 25010, bem como a análise conduzida junto aos trabalhos relacionados de avaliação de ROAs e OAs para justificar os critérios que compõe cada característica.

A Figura 6 representa a arquitetura do método proposto de seleção e pontuação com AHP. Assim, o módulo matriz de julgamento é onde se realiza a avaliação dos especialistas em relação aos critérios com a finalidade de encontrar os seus respectivos pesos. A base de dados da arquitetura contém os indicadores com seus respectivos critérios e características essenciais dos ROA por meio de valores que as compõe, e que foram coletados diretamente junto aos ROAs candidatos. No módulo de requisição o usuário (assumindo que seja o usuário final) irá solicitar aos ROAs, os recursos que lhe convém. O módulo AHP executará o método AHP alimentado pelos critérios da base de dados, através das matrizes de julgamento fornecidas pelos especialistas e pela requisição do usuário final. Ao final do processo os ROAs receberão sua pontuação final. Para o caso de haver mais de um ROA classificado com os mesmos valores de pontuação, prevalece o ROA com o maior valor envolvendo a soma dos seus indicadores.

A Figura 7 representa a modelagem para o AHP referente ao método proposto que o utiliza, onde no primeiro nível da hierarquia está o objetivo do problema, ou seja a seleção de ROAs e seus respectivos recursos. Ligado a esse primeiro nível da hierarquia está o segundo nível com os critérios definidos, baseados na norma ISO 25010 (STANDARDIZATION, 2016). Nesse nível é realizada a pontuação dos critérios em relação ao objetivo. E no último nível temos o nível menos controlável, com as alternativas, que são ligadas aos critérios de forma hierárquica.

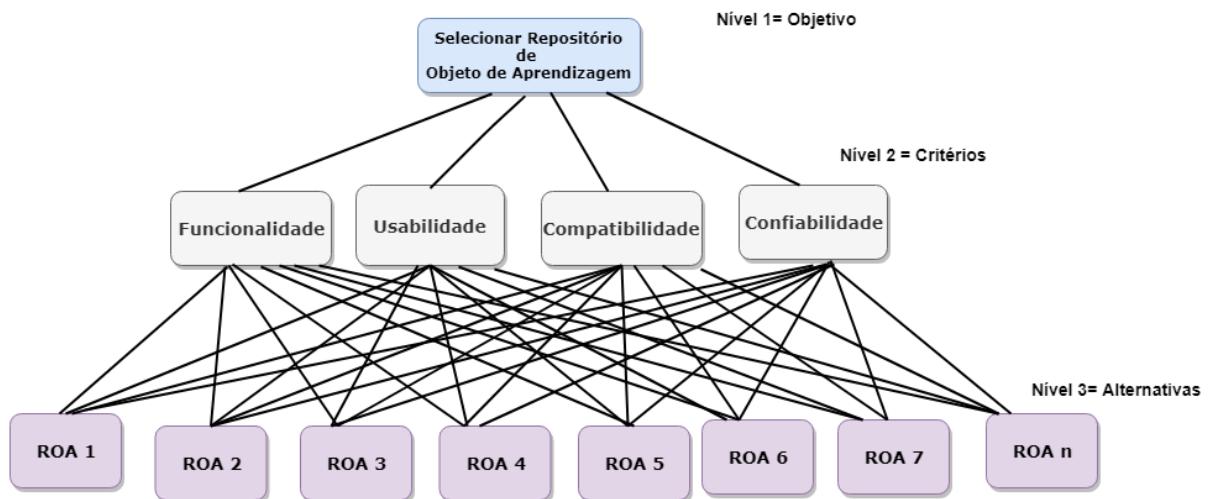
Os Indicadores utilizados no método AHP foram escolhidos por sua credibilidade em qualidade de sistemas e são formados por critérios que são quantificados por suas características encontradas nos ROAs. Para atribuir valores a essas características, foi necessária uma coleta de informações junto aos Repositórios de Objetos de Aprendizagem. Os critérios escolhidos e a definição dos seus valores deu-se da

Figura 6 – Arquitetura de um método proposto utilizando AHP



Fonte: Autoria própria

Figura 7 – Modelagem para o método proposto com AHP



Fonte: Autoria própria

seguinte forma:

- **Funcionalidade:** É composta por vários elementos, sendo as mesmas que foram utilizadas no método proposto utilizando DEA. A sua composição realiza-se através do somatório dos valores de seus critérios conforme a Equação 3.1.
- **Usabilidade:** Da mesma forma como foi calculada para o método DEA, foi calculada para o AHP. Para encontrar o valor para essa característica, foi calculada os

critérios: Navegabilidade, interface e Acessibilidade conforme a Equação 3.4.

- Confiabilidade: É quantificado o total de recursos disponibilizados pelo ROA, bem como a quantificação das informações contidas nos metadados como por exemplo: título do OA, ano de publicação, direito autoral e se possui informação sobre para qual público é direcionado o OA, seja aluno, professor, comunidades, pesquisadores e etc. Para cada uma dessas características, quando existentes no ROA, é atribuído o valor 1 (um), e zero, caso contrário, sendo que uma vez somadas representam o valor para o indicador Confiabilidade conforme consta na Equação 3.2.
- Compatibilidade: Refere-se a quantidade de tipo de recursos (R_e) e formatos (F_o) de objetos de aprendizagem que o ROA disponibiliza. e para normalizar essa característica utiliza-se a Equação 3.3.

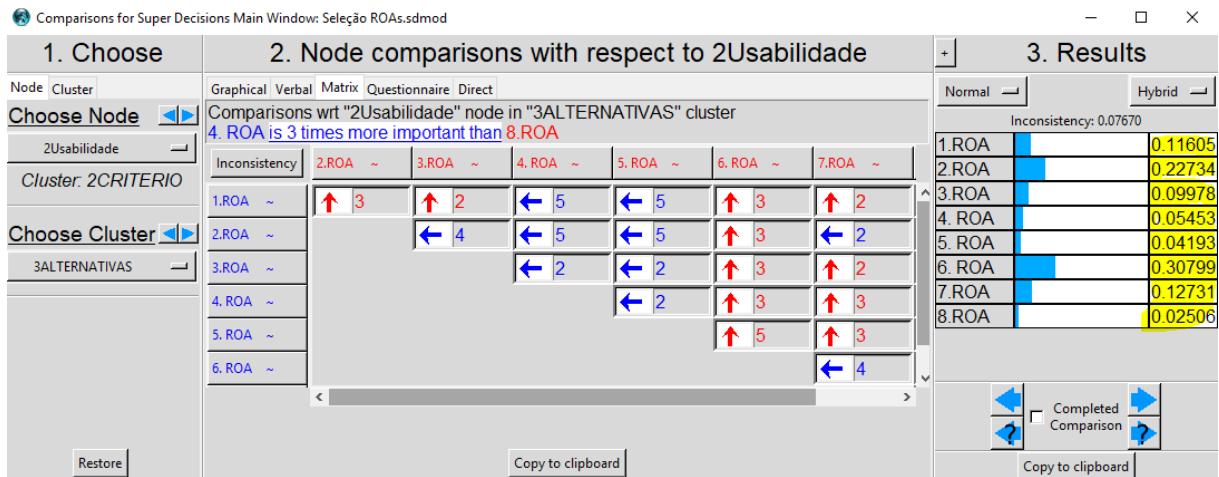
Para cada um dos Indicadores foram encontrados/definidos os critérios compostos por características que somadas forneceram um valor. Os indicadores Funcionalidade, Usabilidade e Confiabilidade e Compatibilidade são os mesmos utilizados no método com DEA, e sua normalização segue o mesmo critério dos cálculos disponíveis na Equação 3.1 para Funcionalidade, Equação 3.4 para Usabilidade, Confiabilidade na Equação 3.2 e Equação 3.3. Após calculados os valores para cada um desses indicadores, estes devem ser normalizados e então aplicados ao método AHP, para que ao final do processo seja atribuída pontuação para cada um dos ROAs analisados.

Contudo, não bastam apenas os valores dos indicadores para que o método AHP ao final atribua pontuação a cada alternativa, ou seja, ROAs nesse caso. Há a necessidade de fornecer ao método, ponderação (pesos) a respeito desses indicadores em relação ao objetivo, bem como ponderação entre critérios (nossos indicadores) e as alternativas (nossos ROAs). Isso é alcançado por meio de matriz de julgamento.

A Figura 8, mostra um exemplo de matriz de julgamento ou de comparação, das alternativas em relação ao indicador Usabilidade. Para cada indicador, uma matriz de julgamento em relação as alternativas, é necessária. Ao realizar esse julgamento, os valores são normalizados somando-se a coluna e depois dividindo cada elemento pelo valor da soma da coluna. Os valores são colocados em outra matriz, onde somam-se os valores de cada linha, obtendo-se um valor que é dividido pelo número de colunas (quantidade de critérios) para encontrar os pesos de cada elemento. Ou seja, nesse ultimo passo executa-se uma média aritmética simples para cada linha (cada elemento sendo julgado/comparado). Na mesma figura, destacado em amarelo, constam os pesos de cada alternativa, relativos ao Indicador Usabilidade e logo acima

está o valor do índice de inconsistência da matriz de julgamento que não pode ser superior a 0,10.

Figura 8 – Comparação das alternativas em relação ao Indicador Usabilidade



Fonte: Impressão de tela do software SuperDecisions (CREATIVE DECISIONS FOUNDATION, 2019)

Vale ressaltar que os valores devem ser preenchidos apenas para a diagonal superior da matriz de julgamento, sendo que a diagonal inferior conterá automaticamente os valores inversos. Ainda, esses valores devem estar dentro de um intervalo fechado de números entre 1 e 9, representando ordem crescente de prioridade/importância de um elemento em relação a outro. Esse intervalo é conhecido como escala de Saaty (SAATY, 2004). Além do cuidado com a utilização da escala de Saaty, é necessário levar em consideração a consistência do preenchimento da matriz, de modo a evitar ambiguidades.

Sendo assim, em uma possível (utilizada) forma para calcular os pesos das características utilizadas pelo método proposto, inicia-se com a realização da avaliação de julgamento (avaliação de prioridade/importância) dessas características em relação ao objetivo.

Esse julgamento entre características deve ser executado por especialistas que sejam usuários ou conhecedores experientes em ROAs ou sistemas *e-learning*. Dentro desse perfil de especialistas pode-se considerar professores, principalmente quem fornece aula EAD por fazer muito uso de recursos educacionais digitais, desenvolvedores de ROAs, e em geral, quem tenha um envolvimento direto com educação e tecnologias. Para este trabalho colaboraram quatro especialistas com perfil adequado. Dentre eles estão professores universitários em nível de graduação, alguns com experiência em ensino EAD e outros estão realizando mestrado em ensino e tem um

grande envolvimento com tecnologias.

Assim, para este trabalho, tal avaliação consta na Tabela 13. Essa tabela apresenta os valores atribuídos pelos especialistas de acordo com suas avaliações pareadas de importância entre as características utilizadas. Nela, pode-se observar que para cada Indicador (critério na terminologia AHP, e linha na tabela), há valores atribuídos para cada comparação entre Indicadores, pelos 4 especialistas.

Tabela 13 – Avaliação dos Especialistas

Critério	Especialista	Func.	Usab.	Conf	Comp.	Pesos
Func.	Especialista 1	1	0,142	0,111	5	0,09565
	Especialista 2	1	8	0,111	8	0,23249
	Especialista 3	1	8	0,111	8	0,23249
	Especialista 4	1	9	0,111	7	0,36226
Usab.	Especialista 1	7	1	0,111	7	0,22642
	Especialista 2	0,125	1	0,111	8	0,11459
	Especialista 3	0,125	1	0,111	8	0,11459
	Especialista 4	0,111	1	9	0,125	0,14453
Conf.	Especialista 1	9	9	1	9	0,63933
	Especialista 2	9	9	1	9	0,61768
	Especialista 3	9	9	1	9	0,61768
	Especialista 4	9	0,111	1	0,125	0,23855
Comp.	Especialista 1	0,2	0,142	0,111	1	0,03857
	Especialista 2	0,125	0,125	1	1	0,03522
	Especialista 3	0,125	0,125	0,111	1	0,03522
	Especialista 4	0,142	8	8	1	0,25464

Fonte: Autoria própria

Como para cada especialista e para cada indicador é gerado um valor de peso, a opção adotada neste trabalho como peso de cada indicador, é a utilização da média aritmética simples entre os valores dos especialistas. Tal abordagem é ilustrada na Tabela 14.

Tabela 14 – Média dos pesos dos especialistas

Critério	Esp. 1	Esp. 2	Esp. 3	Esp. 4	Média
Funcionalidade	0,09565	0,23249	0,23249	0,0,36226	0,23072
Usabilidade	0,22642	0,11459	0,11459	0,14453	0,15003
Confiabilidade	0,63933	0,61768	0,61768	0,23855	0,52831
Compatibilidade	0,03857	0,03522	0,03522	0,25464	0,09091

Fonte: Autoria própria

3.1.2.1 Requisições do usuário

A Requisição do usuário representa as necessidades de um ROA de qualidade e que satisfaça suas expectativas. Partindo do pressuposto da existência de

uma interface de usuário que apresente as opções elencadas, na requisição o usuário deve escolher qual(is) indicador(es) (Funcionalidade, Usabilidade, Confiabilidade e Compatibilidade) representam sua demanda. Assim, dada a escolha dos indicadores, deve-se selecionar o(s) critério(s) e consequente e finalmente as características que os compõe. Uma vez selecionadas as características, o usuário deve atribuir valores a cada uma de forma que o conjunto de características e seus valores representem o que é desejado do ROA.

3.1.2.2 Atendimento da requisição

O conceito de atendimento das requisições do usuário é fundamental em todos os módulos utilizados nesse trabalho. Isso se deve ao fato de que o atendimento modela se o ROA consegue satisfazer o usuário utilizando uma abordagem quantitativa que expressa resultados qualitativos, ou seja, aquele ROA que atende quantitativamente as características necessárias ao usuário é o que apresenta a melhor qualidade para utilização.

Dessa forma, a Equação 3.6 representa a função de atendimento (*Atend*) acerca do valor (V_i) da requisição (Rq) em relação ao valor do critério (C_n) ∈ ao indicador (*Ind*) de cada alternativa (A_j). Assim, se o valor da requisição ($Rq(V_i)$) for maior que o valor do critério (C_n) da alternativa (A_j) então a alternativa (A_j) não atende a requisição, e o valor da função (*Atend*) é igual a 1. Caso a requisição ($Rq(V_i)$) seja menor ou igual ao valor do critério (C_n) da alternativa (A_j), então a alternativa (A_j), atende a requisição com valor igual a 9.

$$Atend(Rq(V_i), C_n, A_j) = \begin{cases} 1, & Rq(V_i) > C_n(Ind_n) \in A_j \\ 9, & Rq(V_i) \leq C_n(Ind_n) \in A_j \end{cases} \quad (3.6)$$

A Tabela 15, mostra um exemplo prático da utilização da Equação 3.6. Supondo uma requisição do usuário para o Critério n com valor 3, cujo resultado da verificação de atendimento por parte das alternativas gere uma matriz de julgamento, como a apresentada na Tabela 16, pode-se então, utilizando procedimento estabelecido pelo método AHP, gerar pesos para cada alternativa. Esses pesos representam quão bem cada alternativa atende ao usuário em relação ao critério analisado. Para o referido exemplo contemplando o Critério n , a Tabela 16 apresenta os valores de peso para cada alternativa. Importante ressaltar que para cada critério necessário pelo usuário e representado em sua requisição, um conjunto de pesos para cada alternativa deve ser gerado.

Tabela 15 – Matriz de julgamento com exemplo de uma requisição

Critério n	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	1	1	0,111	0,111
Alternativa 2	1	1	1	1
Alternativa 3	9	1	1	1
Alternativa 4	9	1	1	1
Soma	20	4	3,111	3,111

Fonte: Autora

Tabela 16 – Pesos para as alternativas do exemplo de requisição

Critério n	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Pesos
Alternativa 1	0,05	0,25	0,0357	0,0357	0,09285
Alternativa 2	0,05	0,25	0,322	0,322	0,34855
Alternativa 3	0,45	0,25	0,322	0,322	0,336
Alternativa 4	0,45	0,25	0,322	0,322	0,336

Fonte: Autora

Assim, após a requisição do usuário, a fórmula de atendimento é aplicada para calcular o valor de cada requisição feita para cada alternativa.

3.1.3 Avaliação com Método Híbrido AHP-DEA

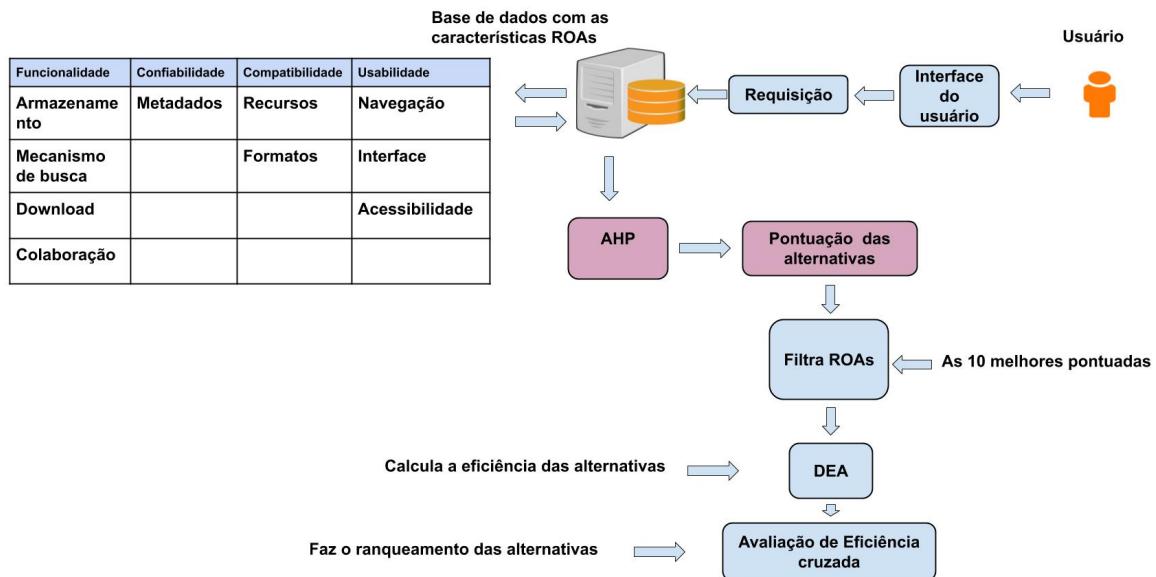
Esse método foi criado para realizar a avaliação hierárquica com AHP e o ranqueamento de forma discriminatória entre as alternativas com a avaliação de eficiência cruzada do DEA, para colocar um consenso entre os decisores sobre a importância relativa das variáveis para utilizar restrições aos pesos e deseja-se incrementar a discriminação entre DMUs.

Esse método proposto utiliza normalmente a forma padrão de obtenção de pesos com o AHP como explicado na seção com AHP. Com aplicação de todos os procedimentos para se encontrar os pesos dos Indicadores e critérios, utilizando a requisição do usuário relativa a sua necessidade em termos de ROAs com a Equação 3.6, procede-se a classificação das alternativas por meio da pontuação global. Em seguida, são selecionadas as 10 melhores alternativas e aplicadas no método DEA para analisar a eficiência de cada uma delas.

A Figura 9 demonstra a arquitetura do método híbrido proposto, AHP-DEA. Nela, observa-se a base de dados com todas as características dos ROAs, bem como a requisição do usuário em relação a tais características. O método é executado em duas etapas transparentes para o usuário de forma que ele apresente sua requisição em termos de valores para as características, que compõe os critérios, necessários e recebe ao final a lista ranqueada dos mais adequados ROAs. Assim, com as informações da requisição do usuário, da base de dados e dos pesos dos critérios calculados em função das avaliações dos especialistas, ocorre a aplicação do método AHP e con-

sequentemente obtêm-se a pontuação das alternativas. Em seguida, ocorre a seleção das alternativas mais bem pontuadas que são então aplicadas ao método DEA de forma a calcular a eficiência. Finalmente, procede-se, em seguida, ao ranqueamento dessas alternativas utilizando-se da técnica de avaliação da eficiência cruzada.

Figura 9 – Arquitetura do AHP-DEA



Fonte: Autoria própria

O método AHP-DEA, é uma extensão do método AHP, realizando todo processo com o AHP desde a comparação dos critérios por especialistas para se atribuir os respectivos pesos até o resultado de ranqueamento das alternativas. Em seguida, os 10 (dez) ROAs melhor classificados serão avaliados pelo método DEA. A pontuação obtida por esses dez ROAs é utilizada como variável de saída do DEA, e é nomeada Classificação AHP. É importante notar que a requisição do usuário já é tratada pelo método AHP, e portanto a pontuação do AHP é justificada como variável de saída, nesse caso.

Essa abordagem irá classificar os ROAs entre os mais bem classificados pelo AHP, e para isso utilizará a eficiência relativa entre eles. Caso na classificação final encontrem-se vários ROAs na fronteira de eficiência, ocorrerá um ranqueamento baseado na média da avaliação cruzada do DEA explicado na Seção 2.4.2.

3.1.3.1 Variável de entrada (Critérios a minimizar)

Como o método DEA é alimentado por variáveis, para este método foram selecionadas três variáveis de entrada e uma de saída. As variáveis de entrada são

Funcionalidade, Compatibilidade e Confiabilidade. Essas variáveis são as mesmas utilizados com o método envolvendo apenas DEA, portanto serão utilizados os mesmos valores. O detalhamento de cada uma dessas variáveis e suas Equações estão na Seção 3.1.

3.1.3.2 Variável de saída (Critérios a maximizar)

Para variável de saída será utilizada o valor do resultado do AHP, porém somente com as alternativas que estiverem entre as 10 melhores classificadas.

Assim, forma-se um método híbrido, com uma variável pertencendo e alimentando o método DEA e a variável de saída vinda como resultado do AHP. Com isso, essas duas variáveis alimentam o DEA utilizando um dos modelos (BCC ou CCR) para calcular a eficiência relativa dos ROAs que tiveram a melhor classificação com AHP. Para este experimento, foi utilizado o modelo BBC orientado a saída, uma vez que pretende maximizar o valor da requisição.

3.1.4 Avaliação com Método da literatura MCEQLS com AHP-FUZZY

Esta subseção apresenta um método de avaliação proposto na literatura, utilizado por Kurilovas, Vinogradova e Kibilinskiene (2016), para avaliar qualidade dos recursos e funcionalidade dos repositórios de objetos de aprendizagem (ROAs). Naquele trabalho a metodologia utilizada para avaliar a qualidade em uso dos (ROAs) chama-se Múltiplos Critérios de Avaliação de Software de Aprendizagem, do inglês, *MultiCriteria Evaluation of Quality of Learning Repositories* (MCEQLS).

O MCEQLS está dividido em quatro partes: 1) identificação dos critérios a serem utilizados; 2) Estabelecer pesos para os critérios usando AHP-Fuzzy; 3) avaliar as alternativas em relação a todos os critérios ; 4) calcular o valor numérico da qualidade (*score*) das alternativas, utilizando os valores numéricos obtidos (classificações) e os pesos dos critérios, por meio da utilização da fase final do método AHP, ou seja, cálculo da pontuação final sem a necessidade de obtenção dos pesos dos critérios.

3.1.4.1 Identificação dos critérios

Para identificação dos critérios de qualidade que foram utilizados, os autores utilizaram os princípios da análise de decisão baseada em múltiplos critérios de Belton e Stewart (2002) e a norma de qualidade de software IEC 9126-1: 2001 atualmente norma 25010. A norma foi dividida em duas partes: qualidade interna que descreve a qualidade do software independentemente de qualquer contexto particular de seu uso e qualidade de uso que é uma característica avaliativa de software. Os critérios podem

ser qualitativos e quantitativos e geralmente têm diferentes unidades de medida e uma direção de otimização diferente.

Os critérios selecionados no MCEQLS foram: Navegação, coleta e compartilhamento de OAs, páginas dos metadados, interface do ROA, Atualização do usuário, Configurações pessoais na página de perfil, Editores de metadados, metadados gerados pelo usuário e Adicionando metadados descritivos. Todos esses critérios já foram justificados na subseção 3.1.1, e a maioria deles também são utilizados como critérios formadores dos Indicadores do presente trabalho.

3.1.4.2 Obtenção dos pesos dos critérios com AHP-Fuzzy

Kurilovas, Vinogradova e Kibilinskiene (2016) propuseram o método MCEQLS com aplicação do AHP-Fuzzy para, através de uma matriz de comparação pareada, usando números *fuzzy* triangulares, obter os pesos dos critérios. Esses pesos são parte crucial da obtenção do *score* final para as alternativas sendo avaliadas. Para tanto, cada perito realiza o procedimento de avaliação aplicando o método AHP de comparação pareada (tabela de julgamento) usando números triangulares formando assim uma matriz pareada difusa. Os números *fuzzy* triangulares são formados por três parâmetros (*l*, *m*, *u*), onde, *m* (modal) e *l* (lower) e *u* (upper), que definem a qualidade entre 0 e 1 por meio de uma função de associação a um domínio do problema sendo resolvido.

Uma alternativa para a formação da matriz de julgamento, é o estabelecimento de uma função de fuzzificação que transforma números pertencentes ao conjunto dos números Reais, como os números resultantes da utilização da escala de Saaty, em números *fuzzy*. Assim, os especialistas podem avaliar os critérios utilizando a escala de Saaty e a obtenção dos pesos segue a manipulação de números *fuzzy*, por meio do método estendido de análise *fuzzy*, conforme Seção 2.4.4. Assim, com a utilização desse método, ao final, os pesos *fuzzy* são defuzzificados, ou seja, novamente transformados em números reais, por meio da utilização da avaliação dos seus graus de possibilidades (ver Seção 2.4.4), gerando pesos em números reais para os critérios em relação ao objetivo do problema (ver modelagem hierárquica do problema de seleção disponibilizada pelo método AHP na Seção 2.4.3).

Outra faceta importante relativa à obtenção dos pesos, deve ser observada em relação aos pesos dos valores dos critérios nas alternativas. Tais pesos se justificam pela necessidade de avaliação de quão bem os valores dos critérios pertencentes a cada alternativa, atendem ao que é solicitado em relação aqueles critérios, por parte do usuário. Assim, ocorre processo parecido à obtenção dos pesos para os critérios em relação ao objetivo do problema, exceto que ao invés de uma avaliação por parte de especialistas, os valores dos critérios são avaliados se atendem ou não ao que é

solicitado, de acordo com a Equação 3.6, cuja aplicação pareada entre os valores do critério gera uma matriz de julgamento, cuja manipulação determina os pesos para cada um desses valores.

Portanto, diferentemente da obtenção dos pesos para os critérios em relação ao objetivo, que leva em consideração a avaliação pareada de especialistas e posterior fuzzificação, manipulação, defuzzificação e normalização dos pesos, a obtenção dos pesos dos valores dos critérios leva em conta o atendimento, daquele valor de critério, do valor requisitado pelo usuário para aquele critério em questão. Portanto, nesse último caso não são envolvidos números triangulares *fuzzy*, e a manipulação da matriz de julgamento resultante da avaliação desse atendimento ocorre de maneira tradicional, como no método AHP tradicional.

3.1.4.3 Classificação final

O último passo do método MCEQLS é computar os resultados finais da avaliação usando os valores de pesos previamente obtidos, tanto para os critérios em relação ao objetivo, quanto para os valores desses critérios (em função do atendimento da requisição do usuário) em relação às alternativas de solução, ou seja, em relação aos ROAs.

Assim, a diferença entre o método tradicional AHP e o AHP-Fuzzy, é a forma de obtenção dos pesos para os critérios em relação ao objetivo do problema e dos valores dos critérios em relação às alternativas. No caso do AHP-Fuzzy, a avaliação do especialista é fuzzificada inicialmente para obtenção de um peso *fuzzy*, para os critérios em relação ao objetivo do problema, que é defuzzificado ao final. Portanto, a classificação final no MCQELS segue o padrão do método AHP, onde os pesos dos critérios são multiplicados por seus valores e o resultado somado é multiplicado pelo peso da alternativa em relação ao objetivo, para cada alternativa. Contudo, para o MCEQLS, foi necessária adaptação para que o método pudesse ser comparado. Tal adaptação é a mesma realizada ao método que utiliza o AHP tradicional, no sentido de levar em consideração o atendimento da requisição do usuário. Nesse sentido, ao invés de a multiplicação ocorrer com o valor do critério, ela ocorre com o peso do valor do critério (que é obtido em função do atendimento, pelo valor do critério do ROA, da requisição a respeito daquele critério, pelo usuário. Assim, ao final, o resultado, para cada alternativa, é sua classificação, ou pontuação. Portanto, o ROA (alternativa) que obtiver a maior pontuação é considerado o de melhor qualidade.

3.2 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

Este capítulo apresentou a proposição de uma arquitetura de avaliação de Repositórios de Objetos de Aprendizagem, baseada em indicadores aderentes à norma de qualidade de software ISO 25010 (STANDARDIZATION, 2016). Os indicadores utilizados são: Funcionalidade, Usabilidade, Confiabilidade e Compatibilidade. Eles são compostos por critérios que por sua vez possuem características que são quantificáveis a partir da coleta de informações diretamente nos ROAs envolvidos na avaliação.

A arquitetura propõe a avaliação de ROAs por uma base envolvendo duas abordagens diferentes, que se somam em uma abordagem híbrida. Tais abordagens pressupõem, a avaliação dos ROAs por meio de suas eficiências relativas, bem como por meio de uma abstração de hierarquia envolvendo os critérios e suas importâncias em termos de avaliação juntamente com os ROAs como alternativas de um processo de tomada de decisão.

Assim, para medir a eficiência dos ROAs ou DMUs como comumente chamado pelo método DEA, utilizado na abordagem de avaliação da eficiência relativa, foram utilizados os seguintes indicadores para variáveis de entrada: funcionalidade, confiabilidade e compatibilidade. Como variáveis de saída foram utilizadas a Usabilidade e criada a variável Reusabilidade para medir o que “restaria” no ROA após o atendimento da requisição do usuário. Ou seja, o que está disponibilizado no ROA subtraído do que o usuário deseja.

Para avaliar os ROAs por meio da análise hierárquica das alternativas e seus critérios, foram utilizados os indicadores (e suas características) Funcionalidade, Usabilidade, Compatibilidade e Confiabilidade. Para tanto propô-se um método de avaliação que utiliza o método AHP. Ele pontua cada alternativa em função dos valores dos critérios nas alternativas, ponderando tais valores através de avaliações de prioridade/importância, também conhecidos por julgamentos. Ao final, o método proposto ordena quais alternativas (ROAs) ficam melhor colocadas em um ranking definido em razão dos valores dessas características (indicadores).

Com o método híbrido AHP-DEA são utilizadas as variáveis que já foram citadas exceto a variável Reusabilidade. Esse método poderá ranquear as classificações do AHP com mais precisão a analisar a eficiência de cada ROA. Utilizando os mesmos critérios e características, foi apresentado também o método MCEQLS, proposto por Kurilovas, Vinogradova e Kubilinskiene (2016), e que será utilizada para efetuar comparações de resultados de avaliação com os métodos propostos pela arquitetura de avaliação desenvolvida. Tal método utiliza em sua abordagem um método híbrido com AHP e Fuzzy, para identificar o ROA mais adequado em relação a suas funcionalidades e qualidade.

No próximo capítulo serão apresentados experimentos com cada um dos métodos propostos na arquitetura de avaliação proposta.

4 ANALISE EXPERIMENTAL E RESULTADOS

Este capítulo apresenta experimentos realizados com o intuito de validação da arquitetura proposta, bem como discute os resultados obtidos. Nesse sentido, inicialmente apresenta-se o conteúdo do componente base de dados da arquitetura. Esse componente foi alimentado pela coleta dos valores das características que compõem os critérios e indicadores definidos, direta e manualmente junto aos ROAs e será explicitamente abordado na próxima seção. Os valores presentes na base de dados servirão ao propósito de validação dos métodos propostos na composição da arquitetura de avaliação de ROAs proposta. A seguir apresenta-se os experimentos realizados envolvendo essa base de dados, bem como as requisições do usuário utilizadas, para cada um dos métodos propostos. Finalmente, os resultados dos métodos propostos serão comparados com os resultados do método MCEQLS, presente na literatura. Os Repositório de Objetos de Aprendizagem candidatos aos experimentos, foram selecionados do trabalho de Junqueira e Lóscio (2014).

4.1 BASE DE DADOS

A Tabela 17 apresenta os critérios essenciais levantadas pela análise individual de 40 ROAs que alimentam a base de dados e que serão utilizados nos experimentos. Cada coluna representa um critério, e que em conjuntos distintos representam e totalizam os valores para os Indicadores já definidos. A coleta dos dados se deu por meio de uma avaliação nos ROAs, onde cada um foi analisado individualmente observando todos os critérios estabelecidos e pertencentes aos Indicadores utilizados. Os critérios de cada indicador (explicado na Seção 3), foram quantificados por valores iguais a 1, caso fossem encontrados nos ROAs, senão zero.

A Tabela 17 também apresenta os valores dos indicadores utilizados no experimento, bem como a indicação de quais critérios os compõem. Basicamente, tais indicadores representam as variáveis de entrada e saída para a geração da fronteira de eficiência. Sendo assim, conforme já mencionado, os critérios para **Funcionalidade** são: armazenamento (*Ar*), campos de busca (*Cb*), criação de conta particular (*Cp*), meios de colaboração (*cl*), para **Compatibilidade**, são recursos (*Re*) e (*Fo*), informações contidas nos metadados (*Me*); para **Confiabilidade** como por exemplo: título do OA (*To*), ano de publicação (*Ap*), direito autorais (*Da*), público alvo (*Pu*) e para **Usabilidade**: (*Na*) naveabilidade, (*In*) Interface e acessibilidade (*Ac*). A coluna **total**, representa o valor do indicador, composto pela soma dos valores de seus critérios. Na Tabela 17, os valores dos indicadores não estão normalizados.

Tabela 17 – Valores dos critérios disponíveis na base de dados

ROAs	Funcionalidade			Confiabilidade			Compatibilidade			Usabilidade				
	Ar,	Mb,	Cp,	Cl,	total	Me,	total	Re	Fo	total	Na,	Int,	Ac	total
ROA1	2	4	4	1	11	6	6	11	3	14	13	8	2	23
ROA2	1	3	0	0	4	1	1	5	2	7	22	6	4	32
ROA3	2	4	3	4	13	11	11	8	3	11	14	5	0	19
ROA4	2	7	3	1	13	11	11	3	3	6	15	8	1	24
ROA5	2	3	3	5	13	9	9	6	3	9	11	6	2	19
ROA6	3	7	3	4	17	11	11	6	5	11	14	5	1	20
ROA7	2	6	2	1	11	10	10	11	5	16	15	8	0	23
ROA8	2	5	2	1	10	10	10	9	4	13	14	5	1	20
ROA9	0	7	1	3	11	10	10	13	6	19	14	6	1	21
ROA10	2	6	1	2	11	6	6	7	4	11	10	5	1	16
ROA11	1	4	2	1	8	8	8	7	4	11	6	3	0	9
ROA12	2	5	1	6	14	8	6	7	4	11	14	9	2	25
ROA13	1	2	1	0	4	4	4	8	3	11	5	5	0	10
ROA14	2	4	2	9	17	8	8	7	3	10	10	6	1	17
ROA15	1	3	0	1	5	5	5	5	2	7	8	3	0	11
ROA16	0	2	2	5	9	7	7	3	2	5	11	5	1	17
ROA17	2	10	0	3	15	12	12	5	4	9	15	4	1	20
ROA18	1	1	0	1	3	3	3	1	3	4	3	7	3	23
ROA19	4	1	0	4	9	8	8	4	3	7	13	7	0	8
ROA20	1	2	0	2	5	8	8	5	5	7	3	1	0	10
ROA21	1	2	0	1	4	5	5	0	0	11	7	3	0	12
ROA22	0	3	0	1	4	0	0	0	0	11	9	20	7	5

Continuação Tabela 17

ROAs	Funcionalidade				Confiabilidade total	Compatibilidade total	Usabilidade total			
	Ar,	Mb,	Cp,	Cl,						
ROA23	2	5	1	6	14	6	6	18	8	0
ROA24	2	7	1	4	14	3	3	12	6	12
ROA25	3	9	2	8	22	12	13	19	11	15
ROA26	2	6	1	3	12	12	9	3	12	25
ROA27	1	5	2	6	14	6	6	4	4	17
ROA28	2	8	2	7	19	12	11	3	14	26
ROA29	1	7	0	4	12	12	5	3	8	14
ROA30	2	6	0	7	15	9	9	10	6	21
ROA31	5	2	1	6	14	5	5	15	2	21
ROA32	1	3	1	4	9	6	6	3	4	15
ROA33	2	6	1	2	11	12	12	7	4	17
ROA34	2	7	1	1	11	12	12	4	11	20
ROA35	2	6	1	1	10	12	12	5	2	16
ROA36	2	6	1	10	19	5	5	10	5	13
ROA37	1	6	0	7	14	12	12	17	6	22
ROA38	4	1	2	8	15	7	7	8	1	13
ROA39	2	4	1	5	12	14	14	9	4	8
ROA40	2	4	2	9	17	8	8	7	4	20

Fonte: Autoria própria

4.2 REQUISIÇÃO DO USUÁRIO

A solicitação do usuário representa o que o mesmo está interessado em encontrar nos Repositórios Educacionais. Dessa forma, ele irá solicitar quais critérios de qualidade são do seu interesse, sendo possível saber qual é o mais adequado ROA tanto em termos de quantidade como de qualidade.

Para a validação do método foram geradas três tipos de requisições hipotéticas. As mesmas serão utilizadas para todos os métodos. A Tabela 18, apresenta os valores para cada critério utilizado na requisição. Na primeira requisição os valores foram menores para simular o caso em que a maioria dos ROAs conseguem atender, definido como o melhor caso para a arquitetura. Na segunda requisição é esperado que esse valor de ROA reduza, pois as chances dentro o conjunto de ROAs atenderem será menor, uma vez que os recursos solicitados aumentam. Esse é o caso médio. E por fim, a última requisição, simula o pior caso em que a arquitetura encontra maior dificuldade para encontrar ROAs que atendam ao maior volume possível de recursos (critérios) para serem atendidos. Assim, nessa requisição a quantidade requisitada para cada critério é a mais alta, de todas as requisições de teste. Cada método terá suas particularidades e comportamento diferentes em relação as três requisições. Porém é esperado que todos tragam sempre os melhores ROAs em suas classificações.

Tabela 18 – Requisições

Critérios	Requisição 1	Requisição 2	Requisição 3
<i>reqRe</i>	4	8	10
<i>reqFo</i>	3	5	4
<i>reqCo</i>	3	4	5
<i>reqMe</i>	8	9	10
<i>reqCp</i>		2	2
<i>reqAr</i>			2
<i>reqNa</i>			10
<i>reqInt</i>			8
<i>reqAc</i>			3

Fonte: Autoria própria

Assim, na primeira requisição, simulou-se a requisição por parte do usuário de 4 tipos de recursos (*reqRe* = 4), que poderiam ser por exemplo, conteúdo de hipertexto e infográficos compreendendo uma disponibilidade maior de formatos: pdf, vídeo e etc (*reqFo* = 3), meios para trocar informações de forma colaborativa (*reqCo* = 3), considerando que seja uma turma de alunos que compreendam mais materiais de leitura e queiram trocar informações sobre a aula e sobre os recursos utilizados e informações descritas nos metadados (*reqMe* = 8). Na segunda requisição, considerou-se *reqRe* = 8), por exemplo, simulação, animação, experimentos e narrativas para aulas mais

tecnológicas, nos formatos vídeo, áudio e *software* ($reqFo = 5$) e meios para trocar opiniões sobre os recursos e postar seus OAs ($reqCo = 4$) com pelo menos 8 descrições nos metadados para identificar o grau de confiabilidade dos recursos e mais informações descritas nos metadados ($reqMe = 9$) e criação de um perfil para gerenciar seus OAs ($reqCp = 2$). Na terceira requisição requisitou-se recursos como por exemplo, gráfico, animação, slide, mapa conceitual, ferramenta de avaliação, tarefa, estudo de caso, hipertexto ($reqRe = 10$), em formato de: pdf, zip, gif, jpeg, vídeo e áudio ($reqFo = 4$). Por fim, Facebook, twitter, linkdin, blogger, E-mail, forums ou outro espaço qualquer para interação ($reqCo = 5$). Também foi acrescentada na requisição a necessidade de uma conta particular ($reqCp = 2$), para que o usuário possa gerenciar suas informações pessoais bem como registrar seus OAs, classificando, favoritando e etc. Ainda, acrescentou-se a necessidade de ROA com a maior naveabilidade ($Na = 10$) para que o usuário tenha várias opções de navegação tornando fácil para ele o acesso aos conteúdos; interface ($Int = 8$), e que o ROA mantenha o usuário atualizado, que forneça sua(s) área(as) temática(s) entre outros; e acessibilidade ($reqCo = 3$), significando que o ROA seja o mais completo nesse sentido.

4.3 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL COM DEA

Para a validação do método proposto que utiliza o DEA foram executados experimentos envolvendo requisições dos usuário. A Tabela A.26 inclusa no Apêndice A, apresenta os valores das variáveis de entrada Funcionalidade, Confiabilidade e Compatibilidade já normalizados, bem como das variáveis de saída Usabilidade e os valores de Reusabilidade (Reus.). Para essa última variável, que depende dos valores da requisição do usuário, são valores diferentes para cada requisição.

A variável Reusabilidade pode trazer números negativos, a medida que os valores e número de critérios das requisições vão se tornando maiores. Isso acontece uma vez que a variável resulta da subtração entre o que o ROA dispõe e o requisitado pelo usuário. Assim, esse crescimento, tende a diminuir a quantidade de critérios que os ROAs podem atender. Com isso a variável Reusabilidade vai se tornando inutilizável pelo fato de resultar em valores negativos. A solução para este problema, foi acrescentar aos valores dessa variável para todos os ROAs, o valor em módulo (valor positivo) do maior valor negativo assumido por ela no experimento em questão. Assim, todos os valores tornam-se positivos, e aqueles que já são positivos, são acrescidos do valor. Dessa maneira todos os valores continuam proporcionais e não interferem no resultado de eficiência com o DEA.

Para cada um dos ROAs envolvidos na avaliação ($DMU_{1..40}$), os valores das variáveis são calculados por meio dos dados levantados na etapa/módulo análise “manual” dos ROA e que são armazenados na base de dados, conforme Tabela 17. Eles

são calculados de acordo com as Equações 3.1, 3.4 3.3 e 3.5, respectivamente. Os valores das variáveis de entrada não se alteram em função da requisição do usuário, que afeta apenas a variável de saída, Reusabilidade. A Tabela 18 ilustra os critérios utilizados pelo usuário em suas requisições, bem como os valores por ele requeridos de forma hipotética em três (3) requisições distintas.

Os valores das variáveis são inseridos em um *software* chamado Sistema Integrado de Apoio a Decisão (SIAD) (MEZA; GOMES; NETO, 2005) para calcular e encontrar a eficiência relativa das unidades de tomada de decisão (DMUs). Além disso, em seus módulos mais avançados, calcula a média de avaliação cruzada e calcula a fronteira de eficiência invertida para avaliar a ineficiência das DMUs. Este *software* foi utilizado para os experimentos para a geração da fronteira de eficiência e eficiência de avaliação cruzada para ranquear os ROAs através da média dos seus pesos. O Sistema Integrado de Apoio a Decisão (SIAD) permite lidar com até 150 DMUs e 20 variáveis (entradas ou saídas). Esse *software* trabalha com precisão de seis casas decimais e implementa os modelos clássicos (CCR ou BCC) e orientação (entrada ou saída) do *Data Envelopment Analysis* (DEA).

Assim, como para cada requisição do usuário a variável cujos valores se alteraram é a Reusabilidade, a Tabela 19 apresenta os valores para cada uma das 3 requisições testadas. Ela apresenta também os resultados da eficiência relativa (Eff), calculada pelo método DEA, bem como o ranqueamento final (Rk) dos ROAs de acordo com a média da avaliação cruzada (Med), para cada uma das requisições.

Como a discriminação de resultados com DEA é baixa e em todas as requisições sempre houve mais de um ROA eficiente, o módulo Ranqueamento da arquitetura foi utilizado. Particularmente para esse caso, a abordagem de ranqueamento utilizada é conhecida como avaliação cruzada do próprio DEA. Com essa abordagem é possível executar o desempate em termos de eficiência relativa.

Assim, na primeira requisição hipotética do usuário, dezoito (18) ROAs foram considerados eficientes: ROA 2, ROA 4, ROA 12, ROA 14, ROA 16, ROA 18, ROA 19, ROA 20, ROA 22, ROA 35 e ROA 28, ROA 29, ROA 31, ROA 32, ROA 36, ROA 37, ROA 39 e ROA 40. Todos esses ROAs tem recursos suficientes para atender a primeira requisição com eficiência. Como a primeira requisição tem um conjunto de recursos e valores menores, é considerável que o DEA classifique uma quantidade maior de ROAs eficientes. Mas assim como esses ROAs, outros tiveram excelentes pontuações que atenderam também a essa requisição, pois ficaram próximo à fronteira de eficiência¹. Provavelmente, o que ocorreu, foi que o método DEA classificou as mais eficientes, como as DMUs que mais souberam aproveitar seus recursos e funcionalidades, mesmo com poucos valores de Reusabilidade. Essa pouca diferença

¹ Valor 1 para eficiência

de Reusabilidade entre as DMUs também pode influenciar o grande número de ROAs na fronteira de eficiência, uma vez que isso torna pequena a disputa entre as DMUs na consideração de mais eficientes, por que praticamente todas conseguem atender a requisição. Porém na segunda requisição já foi possível observar que algumas DMUs que foram consideradas eficientes na primeira requisição, já não foram na segunda. Isso pelo fato de que na segunda requisição a quantidade de recursos - critérios - foi maior. Nesse caso, tais DMUs não alcançaram valores suficientes para a variável Reusabilidade que pudessem atender ao usuário, e assim não entraram na fronteira de eficiência.

Na segunda requisição os ROAs considerados eficientes foram reduzidos para quinze (15): ROA 2, ROA 6, ROA 7, ROA 9, ROA 16, ROA 18, ROA 22, ROA 24, ROA 25, ROA 27, ROA 38, ROA 31 e ROA 40. Isso significa que com o aumento dos recursos e valores da requisição, alguns dos ROAs que conseguiram atender na primeira requisição não tiveram recursos suficientes para atender na segunda. Com isso percebe-se que conforme os valores de requisição vão aumentando o método vai refinando a classificação. O ranqueamento entre elas pode ser observado na Tabela 19. Nessa tabela é possível notar que os ROAs 32, 25, 38 foram considerados eficientes pelo método DEA, também na primeira requisição.

Tabela 19 – Resultados utilizando o método DEA

ROA	Eff(R1)	Med (R1)	Rk 1	Eff(R2)	Med (R2)	Rk2	Eff(R3)	Med (R3)	Rk3
ROA 1	0,800679	0,557105	37	0,749230	0,269487	34	0,976207	0,472452	13
ROA 2	1,000000	0,622290	15	1,000000	0,612076	12	1,000000	0,398323	7
ROA 3	0,869751	0,711142	24	0,622062	0,222266	36	0,835015	0,431504	17
ROA 4	1,000000	0,610627	16	0,993709	0,323185	33	1,000000	0,714789	3
ROA 5	0,888905	0,743679	21	0,621373	0,246743	35	0,961117	0,523817	11
ROA 6	0,885840	0,683624	26	1,000000	0,697322	6	0,924037	0,449523	16
ROA 7	0,867944	0,668085	30	1,000000	0,679910	8	0,856131	0,376728	27
ROA 8	0,806513	0,643458	32	0,979966	0,674014	17	0,839181	0,409877	22
ROA 9	0,927643	0,758827	20	1,000000	0,647824	10	0,800761	0,310984	33
ROA 10	0,708319	0,569597	34	0,753349	0,535095	25	0,703920	0,393909	26
ROA 11	0,691592	0,552539	38	1,000000	0,644340	13	0,620530	0,306167	34
ROA 12	1,000000	0,794753	6	1,000000	0,689947	7	0,934191	0,535066	10
ROA 13	0,707086	0,464489	39	0,365610	0,196103	38	0,325587	0,133237	40
ROA 14	1,000000	0,817565	10	0,558155	0,201536	37	0,571641	0,318732	32
ROA 15	0,670834	0,465775	40	0,595262	0,371868	32	1,000000	0,681027	4
ROA 16	1,000000	0,831328	5	1,000000	0,647339	11	1,000000	0,544922	5
ROA 17	0,908003	0,674680	29	0,809794	0,458292	29	0,735797	0,419602	20
ROA 18	1,000000	0,415540	18	1,000000	0,368771	15	1,000000	0,392533	6
ROA 19	1,000000	0,775009	8	0,938679	0,624630	18	0,734792	0,466087	14
ROA 20	1,000000	0,753505	17	0,272704	0,156359	39	0,848839	0,449643	15
ROA 21	0,824018	0,535996	35	0,817980	0,439654	31	0,638640	0,342059	31
ROA 22	1,000000	0,790960	12	1,000000	0,661189	9	1,000000	0,147165	39
ROA 23	0,906663	0,702320	25	0,977934	0,584732	20	0,714488	0,254646	38

Continuação Tabela 19

ROA	Eff(R1)	Med (R1)	Rk 1	Eff(R2)	Med (R2)	Rk2	Eff(R3)	Med (R3)	Rk3
ROA 24	0,820207	0,547748	36	1,000000	0,531396	14	0,819257	0,371115	29
ROA 25	1,000000	0,852231	3	1,000000	0,873810	1	1,000000	1,074148	1
ROA 26	0,838636	0,682099	28	0,823845	0,554687	24	0,855202	0,410431	21
ROA 27	0,881088	0,716042	23	1,000000	0,696471	5	0,834612	0,378397	28
ROA 28	1,000000	0,764160	9	1,000000	0,742628	2	0,950138	0,429153	18
ROA 29	1,000000	0,788088	7	0,706664	0,499687	27	0,708145	0,408545	23
ROA 30	0,997479	0,833549	19	0,885208	0,584497	21	0,762734	0,342311	30
ROA 31	1,000000	0,687921	14	1,000000	0,708248	3	1,000000	0,942442	2
ROA 32	1,000000	0,849831	4	0,882360	0,722791	16	0,907194	0,284093	36
ROA 33	0,842896	0,683485	27	0,826398	0,564028	23	0,771569	0,400274	24
ROA 34	0,833020	0,655134	31	0,789115	0,499136	28	0,773085	0,420444	19
ROA 35	0,744257	0,588399	33	0,701796	0,449847	30	0,767456	0,494865	12
ROA 36	1,000000	0,780928	11	0,428898	0,140832	40	0,798874	0,292769	35
ROA 37	1,000000	0,852761	1	0,978878	0,570634	22	0,847772	0,667071	8
ROA 38	0,932414	0,725112	22	0,943181	0,614842	19	0,756731	0,395130	25
ROA 39	1,000000	0,762321	13	0,917322	0,506558	26	0,673435	0,263397	37
ROA 40	1,000000	0,853169	2	1,000000	0,694435	4	0,948163	0,508564	9

Finalmente, a terceira requisição foi realizada com o propósito de testar o pior caso de requisição do usuário entre os ROAs. Essa requisição demanda o máximo de recursos e funcionalidades dos ROAs. Além disso, essa requisição busca validar o método desenvolvido, uma vez que é possível ao analisar a base de dados utilizada, encontrar os ROAs que melhor a satisfazem. Sendo assim, os oito (8) ROAS que ficaram na fronteira de eficiência, nesse experimento, foram: ROA 2, ROA 4, ROA 18, ROA 22, ROA 15, 16, ROA 25 e ROA 31. Com o ranqueamento, o ROA 25 foi considerado o mais eficiente, seguido pelo ROA 31. Ambos nas três requisições aparecem sempre os melhores classificados. Os demais ROAs não possuem os maiores valores quando somado todos seus critérios na base de dados, porém foi analisado, que eles possuem o maior valor de uma determinado critério que foi solicitado pelo usuário. Com isso o método os classificou como eficientes.

Com esses resultados observa-se que o ROA que manteve-se eficiente para todas as requisições do usuário testadas, é o ROA 25. De fato, como se pode observar na base de dados, esse ROA apresenta a maior quantidade de recursos (critérios), destacando-se portanto como o mais adequado ROA do conjunto de ROAs, pelo método proposto utilizando DEA.

Com essa análise percebe-se que o DEA varia seus resultados a cada requisição e quanto menor for uma requisição, o nível de discriminação pelo DEA é menor, podendo trazer uma maior quantidade de DMUs eficientes. Porém quando essa requisição vai se tornando maior o número de DMUs que conseguem atender vai se reduzindo e as chances de trazer DMUs eficientes também. Como foi possível observar, quanto maior a requisição, o DEA pode trazer um ROA mais específico e que consegue atender com mais completude. Percebe-se também uma relação de proporcionalidade entre as requisições de usuário e o nível de discriminação dos resultados apresentados pelo método. Assim, quanto menor a requisição, ou seja, poucos critérios, menor é a discriminação apresentada pelo método proposto, ou seja, mais ROAs são considerados na fronteira de eficiência. Assim, nesse caso, percebe-se a influência da quantidade e valores de recursos (critérios) oferecidos pelo ROA, no cômputo geral da sua eficiência relativa.

4.4 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL COM AHP

Para validação inicial do método proposto utilizando o método AHP, foram utilizados os mesmos 40 ROAs com seus valores de critérios, disponíveis na base de dados. Tal validação leva em consideração os Indicadores - também conhecidos pelos utilizadores do método AHP com o jargão de critérios - Funcionalidade, Usabilidade, Compatibilidade e Confiabilidade. Como já mencionado, nesses experimentos, para os pesos dos indicadores foi realizado um julgamento por parte de especialistas. O

valor do peso para cada indicador, trata-se da média entre os pesos atribuídos pelos especialistas. Assim, conforme explicitado na Seção 3.1.2 tem-se: Funcionalidade com peso 0,23072, Usabilidade: 0,15003, Confiabilidade: 0,5283 e Compatibilidade: 0,0909.

Primeira Requisição

Na primeira requisição com AHP foram utilizados os valores de pesos dos Indicadores, para os respectivos critérios que os compõem e que foram requeridos pelo usuário. Assim, por exemplo, os pesos para os critérios Recursos (Re) e Formatos (Fo) utilizaram o valor 0,0909, uma vez que ambos critérios fazem parte do indicador Compatibilidade; e ao critério colaboração (Cl) foi atribuído o valor 0,23072 que é o peso do indicador Funcionalidade.

A Tabela B.3 contida no Apêndice B, demonstra o passo a passo para obter-se o valor de pontuação global do AHP para cada alternativa, por meio da multiplicação dos valores dos pesos de cada critério, pelo valor da avaliação de atendimento da requisição de cada ROA. Para esse primeiro experimento, como a requisição foi simples, quase todos os ROAs conseguiram atender a requisição do usuário.

A pontuação final executada pelo AHP resultou na classificação dos ROAs. O ROA que possui maior pontuação é considerado a melhor alternativa, porém como esse experimento foi muito simples, quase todos conseguiram atender a requisição. Assim, 14 ROAs ficaram melhor classificados com a mesma pontuação. Sem surpresa, esses conseguiram atender 100% a requisição. Os ROAs que ficaram melhor classificados foram: ROA 3, ROA 5, ROA 6, ROA 9, ROA 14, ROA 17, ROA 19, ROA 25, ROA 26, ROA 28, ROA 30, ROA 37, ROA 39, ROA 40, ROA 29. Os demais ROAs conseguiram atender em partes a requisição ou não atenderam.

Segunda Requisição

A segunda requisição contém a quantidade e valores maiores de critérios do que a primeira. Os passos para obter-se a pontuação final dos ROAs levando em consideração a segunda requisição estão no Apêndice B, na Tabela B.4 que demonstra a multiplicação dos valores dos pesos dos critérios e os valores da requisição e o resultado da multiplicação e pontuação global das alternativas. Os resultados demonstram que houve um diferença maior entre os ROAs que conseguiram atender as requisições.

Nessa classificação sete (7) ROAs conseguiram atender 100% a requisição, portanto foram as melhores alternativas: ROA 3, ROA 5, ROA 6, ROA 14, ROA 25, ROA 28 e ROA 40. Assim como no método DEA, o AHP pode apresentar os ROAs que não tem o maior valor na base de dados, mas sim o maior valor para um determinado critério ou características que o usuário solicitou. Contudo isso pode acontecer

quando as requisições são pouco específicas. No próximo exemplo de experimento com requisição, haverá mais precisão nas características e nos valores.

Terceira Requisição

Para este experimento foi utilizado uma requisição de maiores proporções para avaliar o pior caso com AHP e encontrar qual ROA é considerado o mais adequado para atender ao usuário. Neste experimento, o AHP trouxe com precisão qual o ROA é o mais adequado em termos de quantidade, por que encontra o ROA com mais recursos dentro de todo o conjunto, e com qualidade, por que consegue atender ao usuário de maneira eficiente de acordo com as normas de qualidade. Os critérios utilizados no experimento foram: Recursos (Re) Formatos (Fo), Colaboração (Cl), Metadados (Me), Criação de conta particular (Cp), Armazenamento (Ar), Navegação (Na), Interface (Int).

A Tabela B.5 no Apêndice B apresenta os resultados da multiplicação dos pesos dos critérios e os pesos da terceira requisição para cada ROA e por fim a classificação com o valor da pontuação.

Nesse experimento somente o ROA 25 conseguiu atender 100% em todos os aspectos levantados e em todas as requisições esse ROA é o que possue a maior pontuação, portanto pode se considerar a melhor alternativa entre todos os ROAs.

Em relação a todos os experimentos realizados, pode-se dizer que os resultados mostraram que quanto maior a quantidade e o valor dos critérios de uma requisição mais preciso é o resultado, pois uma requisição mínima é muito genérica e dificilmente um ROA não conseguirá atender. Nos casos em que os ROA apresentaram os mesmos valores de pontuação no ranqueamento, prevaleceu o ROA com o maior valor envolvendo a soma dos seus indicadores.

A Tabela 20 apresenta a pontuação final para as três requisições, ou seja sua classificação de acordo com os valores dos seus pesos e atendimento da requisição. O cálculo para se chegar nessas pontuações estão no Apêndice B do presente trabalho.

4.5 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL COM AHP-DEA

Nesta seção será executada a abordagem utilizando AHP e DEA. Para tal, a execução do método proposto ocorre em duas etapas. A primeira avalia de forma hierárquica os ROAs com seus critérios, levando em conta a requisição do usuário. A pontuação dos ROAs pelo AHP é utilizada como uma variável de saída para o método DEA, que avalia a eficiência relativa dos dez ROAs mais bem classificadas, ranqueando-os ao final.

Como o método DEA trabalha com variável de entrada e de saída, o valor da pontuação do AHP acaba se tornando uma variável de saída devido a requisição já ter sido processada e estar contemplada nesse valor. As variáveis de entrada serão as mesmas e mesmos valores utilizados no método DEA (Funcionalidade, Confiabilidade e Compatibilidade).

No Apêndice C é possível encontrar os pesos dos indicadores utilizados, matriz de julgamento de atendimento da requisição do usuário e os pesos gerados para cada critério que compõe os Indicadores da requisição e a tabela contendo os valores dos critérios AHP (Indicadores), seus pesos, pesos dos valores dos critérios daquela alternativa, e classificação geral dos ROAs pelo método AHP. Ainda, é possível encontrar a tabela com os valores das variáveis de entrada que junto com a variável de saída (Classificação AHP) são calculadas pelo DEA para a geração do resultado de eficiência relativa observado na Tabela 21, 22 e 23.

A Tabela 21 apresenta o resultado da primeira requisição utilizando este método, apresentando a eficiência relativa (Eff), média da eficiência cruzada (Med) e o ranqueamento (RK). Todos os 10 ROAs, mais bem classificados pelo AHP, foram consideradas eficientes pelo DEA nessa primeira requisição. Assim, com a utilização da média de avaliação cruzada foi possível ranqueá-los. Dessa forma, a alternativa mais eficiente foi o ROA 5.

Para a segunda e terceira requisição, dos dez (10) ROAs selecionados, oito (8) foram considerados eficientes e em ambos os ranqueamentos o ROA 25 foi considerado o mais eficiente, seguido do ROA 28 que ficou em segundo lugar na segunda e terceira requisição como mostram os resultados na Tabela 22 e na Tabela 23. A requisição quando é muito simples pode classificar todos os ROAs como eficientes, porém no módulo de ranqueamento ocorre a discriminação com mais precisão entre elas. Outra consideração relevante é em relação aos ROAs que apareceram nas três requisições, são eles: ROA 3, ROA 5, ROA 6, ROA 14, ROA 25, ROA 28, ROA 40. Esses ROAs na base de dados dispõem de mais recursos para todas as requisições.

4.6 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL COM MCEQLS

Com o intuído de avaliar a qualidade dos recursos e funcionalidades dos Repositórios de Objetos de Aprendizagem, Kurilovas, Vinogradova e Kubilienskiene (2016) apresentou uma metodologia conhecida como MCEQLS (*Multiple Criteria Evaluation of the Quality of Learning Software*) que foi melhorada em relação ao trabalho anterior dos autores envolvendo essa metodologia (KURILOVAS, 2013). No trabalho mais recente os autores aperfeiçoaram o modelo utilizando o método multicritério AHP-fuzzy.

O MCEQLS consiste em avaliar a qualidade de uso dos ROAs objetivando

a redução de custos, tempo e recursos humanos importantes para o processo de avaliação. Para isso foi necessária a identificação de critérios de qualidade, técnicas para identificar os pesos dos critérios, e diferentes métodos de tomada de decisão (por ex. Fuzzy e AHP) para obter medidas de avaliação final.

Os critérios utilizados na abordagem dos autores foram explicados na seção 3.1.1. No presente trabalho, como forma de comparação com os métodos propostos são utilizados os critérios que compõe os Indicadores de Funcionalidade, Usabilidade, Compatibilidade e Confiabilidade.

Para obtenção dos pesos foi utilizado o AHP-Fuzzy seguindo os passos detalhados da Seção 2.4.4. Os pesos obtidos foram: 0,997 para Confiabilidade, 0,000997 para os demais pesos de Usabilidade, para Funcionalidade e Compatibilidade, que refletem a avaliação dos especialistas. Em seguida, são calculados os pesos dos valores dos critérios (que compõe os Indicadores), de cada alternativa, baseados nos valores dos critérios requisitados pelo usuário. Finalmente, De posse dos pesos dos Indicadores em relação ao objetivo e dos pesos dos valores dos critérios em relação a cada alternativa, é aplicada a função do AHP para encontrar a pontuação final das alternativas.

Como no trabalho dos autores do método MCEQLS se realiza uma avaliação de ROAs que não leva em consideração a requisição do usuário e com apenas três ROAs, não há, naquele trabalho, como saber até que ponto a alternativa selecionada é válida para o usuário. Nesse sentido é importante ressaltar que para fins de comparação com os demais métodos propostos, que levam em consideração a requisição do usuário, o método MCEQLS foi adaptado de forma a também levar a requisição do usuário em consideração na definição dos pesos dos valores dos critérios requeridos, para cada alternativa. Para isso é utilizada tabela de julgamento padrão do AHP exemplificada para o atendimento de formato na Tabela B.1. Para essa matriz de julgamento/atendimento não se utiliza o processo de fuzzificação, defuzzificação, para obtenção de pesos dos valores dos critérios.

Dessa forma consegue-se analisar, na pontuação final de cada experimento, quais alternativas são as mais adequadas multiplicando os pesos dos indicadores dados especialistas aos pesos dos valores dos critérios de cada alternativa, que somados, apresentam a pontuação do ROA. No Apêndice D é possível observar os pesos dos Indicadores encontrados com o AHP-fuzzy, que são utilizados para cada critério que compõe os Indicadores da requisição. Ainda, naquele apêndice, é possível observar os valores dos pesos dos critérios, e classificação geral dos ROAs.

Primeira requisição

Os resultados da primeira requisição com o método da literatura foram seme-

Ihantes ao resultados com AHP, com 15 ROAs classificados com a melhor e mesma pontuação, são eles: ROA 3, ROA 5, ROA 6, ROA 9, ROA 14, ROA 17 ROA 19, ROA 25, ROA 26, ROA 28, ROA 30, ROA 37, ROA 39, ROA 40. Esses ROAs conseguiram atender a 100% dos critérios requisitados pelo usuário, e portanto se mostraram de boa qualidade conforme conceito dos autores do método. Importante notar, que os mesmos conseguiram fornecer mais recursos com diferentes formatos e possibilitaram ao usuário algumas formas de troca de informação, ou seja um meio de colaboração.

Segunda Requisição

No segundo experimento o resultado foi semelhante ao primeiro, exceto por uma diferença mínima no valor da pontuação final dos sete primeiros ROAs. Contudo, na Tabela 24 o ROA 3, ROA 5, ROA 6, ROA 14, ROA 25, ROA 28, ROA 40, são os ROAs que contém o maior valor de pontuação.

Terceira Requisição

A terceira requisição, assim como nos outros métodos, busca avaliar ROAs em uma situação de pior caso com uma requisição mais específica. Em vista disso, de acordo com os resultados obtidos, somente um ROA demonstrou ser a mais adequada alternativa, sendo ele o ROA 25. Esse ROA na base de dados é o que possui maior quantidade de recursos, formatos, meio de colaboração, criação de conta e perfil para permitir o usuário gerenciar suas informações pessoais e marcar seus OAs favoritos, armazenamento dos seus OAs e metadados e diferentes maneiras de navegação facilitando a busca pelo que se procura. Além disso, é um ROA que atende aos aspectos de uma boa interface e com recursos de acessibilidade. Nos valores finais de pontuação, o ROA 25 aparece na primeira posição, seguido pelo ROA28.

Assim sendo o método da literatura MCEQLS apresentou resultados semelhantes aos demais métodos da arquitetura proposta, porém teve que ser modificado em relação a requisição para ser feita a avaliação, já que o MCEQLS não possui uma função para avaliar os atendimentos dos ROAs em relação ao que o usuário gostaria de encontrar em tais plataformas. Na Tabela 24 apresenta o resultado da avaliação pelo método MCEQLS adaptado, da primeira, segunda e terceira requisições feitas pelo usuário.

4.7 ANÁLISE DOS MÉTODOS E RESULTADOS

A arquitetura proposta disponibiliza quatro métodos de avaliação de ROAs, com métodos multicritérios de decisão. Três deles são próprios: *Data Envelopment Analysis* (DEA), *Analytic Hierarchy Process* (AHP), híbrido AHP-DEA; e um, o MCEQLS que utiliza AHP-fuzzy, abordado pela literatura especializada. Para testar cada método, foram selecionados 40 Repositórios de Objetos de Aprendizagem e utilizadas

três requisições de usuário contendo diferentes quantidades e valores de critérios, representando diferentes dificuldades de atendimento. Assim, a avaliação da arquitetura compreende a execução de doze experimentos de avaliação dos 40 ROAs.

4.7.1 Análise método DEA

O método DEA realiza uma avaliação quantitativa e nos experimentos com esse método, foram utilizadas 5 variáveis, 3 de entrada (Funcionalidade, Confiabilidade, Compatibilidade) e duas de saída (Usabilidade e Reusabilidade). Com essas variáveis foi possível encontrar dentre o conjunto de ROAs, o mais eficiente em termos relativos. Isso não significa que somente os ROAs cujos valores para os critérios requeridos pelo usuário fossem os maiores seriam os mais adequados (eficientes), mas aqueles que também reutilizassem esses critérios de maneira satisfatória e distribuída. Por exemplo, um ROA_a que tem 8 informações descritas nos metadados e apenas 2 tipos de recursos e um ROA_b que tem 5 metadados e 3 tipos de recursos, para uma requisição de 5 metadados e 3 tipos de recursos, eventualmente o ROA_b pode ser mais eficiente que o ROA_a , por que consegue atender a requisição completamente. Logo percebe-se que um ROA que tem uma grande quantidade de um determinado critério, não o torna eficiente. Um ROA para ser eficiente precisa estar uniformemente organizado com seus conteúdos.

Em vista disso, nos experimentos com o DEA, foi possível observar que nem sempre o método trouxe os ROAs que tinham maior quantidade de recursos na base de dados, e sim os que melhor conseguiram atender as requisições de forma proveitosa. Isso também gerou uma limitação ao método em relação ao resultado do experimento, pois o mesmo também apresentou como resposta alguns ROAs que não apareceram em outros métodos na arquitetura, porém não invalida o método por que entre suas DMUs eficientes, estão os ROAs que também se sobressaem nos demais métodos.

Os resultados utilizando o DEA na primeira requisição expuseram a quantidade de 18 ROAs eficientes, 13 ROAs na segunda requisição e 8 ROAs na terceira requisição. Com isso pode-se observar que conforme a variável de saída para reusabilidade vai se alterando, conforme a requisição do usuário, os ROAs eficientes também vão diminuindo. Tal ocorre por que nem todos conseguem se manter eficientes com poucos recursos disponíveis para o usuário. Isso demonstra como a alteração do valor de uma variável pode modificar a ordem de eficiência entre as DMUs como foi caso utilizando a variável Reusabilidade. Contudo, o método DEA é preciso quando suas variáveis são bem modeladas para a avaliação de eficiência das unidades de tomada de decisão.

4.7.2 Análise método AHP

O método AHP foi usado para realizar uma avaliação quantitativa e qualitativa, utilizando indicadores (Funcionalidade, Confiabilidade, Compatibilidade e Usabilidade) em 40 ROAs. Diferente do método DEA, o AHP precisa que um decisor estabeleça os pesos dos Indicadores, através de avaliação de julgamento auxiliada pela matriz de comparação/julgamento.

No primeiro experimento utilizando o AHP, o método selecionou 15 ROAs, todos com os mesmos valores de classificação, ou seja todos eles conseguiram atender igualmente a requisição do usuário. Nela, todos os ROAs selecionados tiveram características semelhantes em relação aos tipos de recursos, formatos de objetos de aprendizagem e funcionalidade dentro dos ROA para colaboração e metadados. Na segunda requisição, o método foi mais preciso em sua seleção e reduziu a quantidade de ROAs pela metade em função dos valores dos critérios solicitados. Na terceira requisição, somente um ROA foi considerado como a melhor alternativa pelo método.

Com isso pode-se observar que o método que utiliza o AHP, seleciona as alternativas de acordo com o que o usuário deseja dos ROAs. Por exemplo, considerando que o usuário escolha o critério tipos de recursos e tipos de formatos e um meio de colaboração, então o AHP selecionará ROAs que tenham mais Compatibilidade devido a seus critérios serem a maioria na requisição.

Portanto, os ROAs selecionados na primeira requisição tiveram mais características dos indicadores de Compatibilidade (tipos de recursos e formatos), seguido de Confiabilidade (metadados) e Funcionalidade (colaboração). Na segunda requisição, os ROAs selecionados contém mais características do indicador de Funcionalidade (colaboração e conta), seguido por Confiabilidade (metadados) e Compatibilidade (tipos de recursos e formatos). Na terceira requisição, o ROA selecionado possui mais Usabilidade (Navegação, Acessibilidade, Interface), Confiabilidade (metadados), Funcionalidade (colaboração e conta, armazenamento) e Compatibilidade (tipos de recursos e formatos).

4.7.3 Análise método AHP-DEA

O método AHP-DEA é relativamente simples, contudo é um complemento para ambos os métodos, principalmente para o AHP, que não possui um ranqueamento específico quando muitas alternativas são classificadas com os mesmos valores, ou em caso em que há não muita diferença nos valores dessas classificações, ou seja, dependendo da requisição e do que o ROA esteja disponibilizando para o usuário, pode classificar muitas alternativas ou apenas uma para o usuário como é o caso da requisição 1 e 3

Para isso o DEA consegue ser mais preciso, que além de avaliar as alternativas melhores classificadas pelo AHP, consegue também prover o ranqueamento entre elas através da média da avaliação cruzada. Em contrapartida o DEA tem sua regra de ouro, que para ser eficaz nos seus resultado precisa ter pelo menos dobro de DMUs em relação a suas variáveis. Como nesse método AHP-DEA possui 4 variáveis 3 de entrada e 1 de saída, então o mínimo de DMU aceitáveis seriam 8. Portanto foram utilizadas as 10 alternativas com as melhores pontuações do AHP.

Essas alternativas foram avaliadas em relação a sua eficiência e ranqueadas. No primeiro experimento com o AHP-DEA todos os ROA tiveram o mesmos valores de pontuação proveniente da pontuação do método AHP, com isso todos os ROA foram considerados eficientes, no segundo e terceiro experimento os valores advindo do AHP, foram diferenciados e o método AHP-DEA avaliou 8 como eficiente, para aumentar essa discriminação foi utilizado o ranqueamento de avaliação cruzada do DEA. Outras observações é que o método AHP-DEA pode ser considerado um método qualitativo e quantitativo. Visto que é a junção de dois métodos o primeiro (AHP) sendo qualitativo e quantitativo e o segundo (DEA) quantitativo.

4.7.4 Análise método da literatura

O método da literatura (MCEQLS) busca avaliar a qualidade dos ROAs, fazendo assim parte de um sistema de apoio à decisão para auxiliar o usuário encontrar um ROA de qualidade em termos de características e funcionalidade, garantir aos usuários acesso fácil e confortável de recursos educacionais, também de alta qualidade.

Exceto pelo forma de obtenção dos pesos dos indicadores, esse método utiliza os mesmos processos com AHP para realizar a classificação dos ROA. Os pesos para os Indicadores e valores são calculados utilizando-se números *fuzzy* que modelam a análise pareada em matriz de julgamento por meio do método de análise estendida *fuzzy*.

Analisando os resultados com o método MCEQLS, verificou-se que os ROAs selecionados, contém maiores características que envolvam maior Confiabilidade em virtude das informações contida dos OAs em seus metadados, isso acontece por ser a Confiabilidade o indicador de maior pesos.

Em relação os experimentos realizados com a primeira, segunda e terceira requisição, foram idênticos com o do AHP tradicional, com diferenças apenas nos valores de pontuação. Porém, os mesmos ROAs selecionados como mais adequados pelo método AHP, foram os mesmos selecionados com o MCEQLS com AHP-*Fuzzy*.

Nesse sentido, pode-se dizer que em termos de validação, levando-se em

consideração a adaptação realizada ao método MCEQLS, e as pequenas diferenças de pontuação, embora não de classificação, o método proposto que utiliza AHP e o MCEQLS equivalem-se.

4.7.5 Outras Análises

Para todos os quatro métodos foram totalizadas doze requisições, três para cada. A Tabela 25 mostra a relação das alternativas (ROA) de acordo com as requisições, nas linhas estão os ROAs e nas colunas os números de vezes que eles aparecem nas requisições entre os 15 melhores classificados. O ROA 1, ROA 7, ROA 12, ROA 20, ROA 24, ROA 27, ROA 32, ROA 35, ROA 36 e ROA 38 aparecem uma única vez na relação de experimentos realizados, geralmente nas primeiras requisições, por tirar o mínimos dos ROAs e dessa forma fazendo com que a maioria consiga atender. Os ROA 2, ROA 4, ROA 17, ROA 26, ROA 29, apareceram em pelo menos duas vezes nas requisições. Já os ROA 9, ROA, ROA 16, ROA 18, ROA 19, ROA 22 e ROA 38, aparecem em três requisições e o ROA 37 aparece em quatro requisições.

Conforme as requisições vão aumentando os melhores ROAs tendem a se manter sempre nas melhores posições e na maior quantidade de requisições como o ROA 3 e o ROA 5, que aparecem em seis requisições, na sequência o ROA 6, ROA 28 e ROA 40 que aparecem em 10 requisições, por último o ROA 25 aparece em todas as requisições.

O ROA 25, pode ser considerado o melhor do conjunto de ROAs, pois se manteve sempre entre os dez melhores sendo classificado em todas as requisições. Esse ROA é o que possui mais recursos e funcionalidades de acordo com o que está a base de dados, dessa forma ele pode ser considerado o melhor ROA. Em seguida o ROA 6, ROA 28 e 40 foram os melhores e aparecem em quase todas as requisições, essas ROAs possuem maiores características dos indicadores de Funcionalidade, Confiabilidade, Usabilidade e compatibilidade.

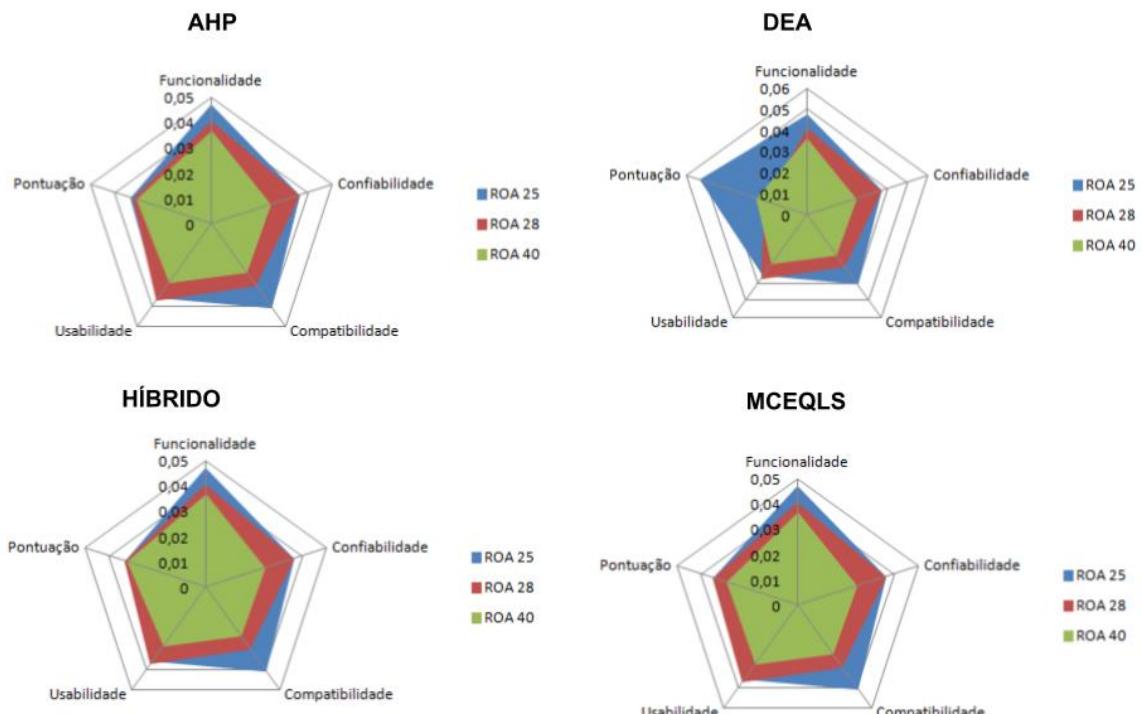
Os ROAs 14, ROA 3, ROA 5 e ROA 37 fazem partes dos dez melhores também e por fim os ROAs 16 e ROA 4 que possuem uma menor quantidade de características em relação aos ROAs citados anteriores, mas conseguiram a classificação entre os dez melhores por atenderem em partes as requisições.

A Figura 10 refere-se aos resultados da terceira requisição, apresentando os três melhores ROAs na classificação de acordo com cada método. Os gráficos mostram a relação dos ROAs: ROA 25, ROA 28 e ROA 40, de acordo com cada indicador e a pontuação final. Pode-se perceber que o padrão evidenciado pela conexão entre os valores dos indicadores e o de pontuação de acordo com cada método é semelhante. Isso acontece pois de fato, os únicos valores que se alteram nessa representação, são

os da pontuação final atribuída por cada método. A exceção no padrão fica por conta do gráfico relativo ao método DEA, pois nesse método os valores finais atribuídos diferem do padrão dos outros métodos em termos de escala. Contudo, é perceptível que o ROA 25 conseguiu se sobressair para todos os indicadores e em todos os métodos como o melhor, seguido pelo ROA 28 e posteriormente o ROA 40, como de fato apontaram todos os métodos desenvolvidos, incluindo o método comparado presente na literatura.

Outra consideração que se faz é em relação aos ROAs que não foram selecionados em nem uma das requisições, por ficarem sempre como os últimos na classificação. Nesse caso, oito ROAs ficaram como as últimas posições nas classificações: ROA 8, ROA 10, ROA 11, ROA 13, ROA 21, ROA 23, ROA 33 e ROA 34. Embora, não apresentada representação gráfica a esse respeito, pode-se observar diretamente na base de dados dos repositórios que os valores para tais ROAs são de fato menos adequados para a seleção de acordo com os Indicadores utilizados pelos métodos propostos e avaliados.

Figura 10 – Relação dos indicadores com os ROAs para cada método



Fonte: Autoria própria

Tabela 20 – Classificação para três requisições com o método AHP

ROA	1 Requisição	2 Requisição	3 Requisição
ROA 1	0,070205	0,144368	0,030019
ROA 2	0,063124	0,063124	0,017631
ROA 3	0,096578	0,170740	0,028771
ROA 4	0,075521	0,149684	0,028858
ROA 5	0,096578	0,170740	0,030946
ROA 6	0,096578	0,170740	0,029845
ROA 7	0,076075	0,150238	0,028494
ROA 8	0,076075	0,150238	0,028326
ROA 9	0,096578	0,104818	0,015923
ROA 10	0,088213	0,096453	0,02162
ROA 11	0,076075	0,150238	0,024623
ROA 12	0,090707	0,098948	0,024746
ROA 13	0,065335	0,073575	0,016694
ROA 14	0,096578	0,170740	0,029013
ROA 15	0,067994	0,067994	0,016087
ROA 16	0,087943	0,162105	0,022299
ROA 17	0,096578	0,096578	0,021605
ROA 18	0,064005	0,064005	0,016579
ROA 19	0,096578	0,096578	0,021716
ROA 20	0,094083	0,094082	0,017930
ROA 21	0,070205	0,070205	0,016087
ROA 22	0,027353	0,027353	0,006973
ROA 23	0,090707	0,098948	0,021203
ROA 24	0,096578	0,098948	0,0220406
ROA 25	0,096578	0,170740	0,033662
ROA 26	0,096578	0,104818	0,024620
ROA 27	0,090707	0,164870	0,029899
ROA 28	0,096578	0,170740	0,032781
ROA 29	0,096024	0,096023	0,020262
ROA 30	0,096578	0,096578	0,020493
ROA 31	0,088497	0,096737	0,025030
ROA 32	0,090153	0,098394	0,022221
ROA 33	0,094083	0,102324	0,023208
ROA 34	0,076075	0,084316	0,021001
ROA 35	0,073865	0,082105	0,020705
ROA 36	0,090707	0,098948	0,021202
ROA 37	0,096578	0,096578	0,021683
ROA 38	0,0790504	0,153213	0,027273
ROA 39	0,096578	0,104818	0,021328
ROA 40	0,096578	0,170740	0,031242

Fonte: Autoria própria

Tabela 21 – Primeira Requisição com AHP-DEA

ROA	Eff (R1)	Med(R1)	Rk (1)
ROA 3	1,000000	0,516993	4
ROA 5	1,000000	0,599612	1
ROA 6	1,000000	0,481456	6
ROA 14	1,000000	0,384771	10
ROA 25	1,000000	0,57906	2
ROA 28	1,000000	0,426086	7
ROA 30	1,000000	0,512843	5
ROA 37	1,000000	0,409825	8
ROA 39	1,000000	0,387938	9
ROA 40	1,000000	0,568984	3

Fonte: Autoria própria

Tabela 22 – Segunda Requisição com AHP-DEA

ROA	Eff (R2)	Med(R2)	Rk (2)
ROA 3	1,000000	0,657003	7
ROA 5	1,000000	0,786800	5
ROA 6	1,000000	0,639846	8
ROA 14	1,000000	0,845712	3
ROA 16	1,000000	0,562330	10
ROA 25	1,000000	1,000000	1
ROA 27	0,970489	1,000000	6
ROA 28	1,000000	0,865335	2
ROA 38	0,945147	0,579033	9
ROA 40	1,000000	0,840924	4

Fonte: Autoria própria

Tabela 23 – Terceira Requisição com AHP-DEA

ROA	Eff (R3)	Med(R3)	Rk (3)
ROA 1	1,000000	0,565836	9
ROA 3	0,929719	0,584982	8
ROA 4	1,000000	0,699558	6
ROA 5	1,000000	0,507403	10
ROA 6	0,942074	0,595246	7
ROA 14	1,000000	0,714291	5
ROA 25	1,000000	0,758152	1
ROA 27	1,000000	0,736640	4
ROA 28	1,000000	0,754957	2
ROA 40	1,000000	0,740263	3

Fonte: Autoria própria

Tabela 24 – Resultados com abordagem da literatura MCEQLS

ROA	1 Requisição	2 Requisição	3 Requisição)
ROA 1	0,081355	0,081675	0,009084
ROA 2	0,081310	0,081310	0,006073
ROA 3	0,092551	0,092872	0,010748
ROA 4	0,092457	0,092777	0,010752
ROA 5	0,092551	0,092872	0,009084
ROA 6	0,092551	0,092872	0,010757
ROA 7	0,092463	0,092783	0,010752
ROA 8	0,092463	0,092783	0,010750
ROA 9	0,092551	0,092587	0,010697
ROA 10	0,081433	0,081468	0,009042
ROA 11	0,092463	0,092783	0,009050
ROA 12	0,081443	0,081479	0,009062
ROA 13	0,081334	0,081369	0,009017
ROA 14	0,092551	00,092872	0,009072
ROA 15	0,081331	0,081330	0,009013
ROA 16	0,081413	0,081734	0,009043
ROA 17	0,092551	0,092551	0,010720
ROA 18	0,081287	0,081287	0,009015
ROA 19	0,092551	0,092550	0,009046
ROA 20	0,092540	0,092540	0,009023
ROA 21	0,081355	0,081355	0,009012
ROA 22	0,000268	0,000267	0,000055
ROA 23	0,081443	0,081479	0,009039
ROA 24	0,081443	0,081479	0,009043
ROA 25	0,092551	0,092872	0,010782
ROA 26	0,092551	0,092587	0,010738
ROA 27	0,081443	0,081763	0,009082
ROA 28	0,092551	0,092872	0,010775
ROA 29	0,092545	0,092545	0,010715
ROA 30	0,092551	0,092550	0,009036
ROA 31	0,081419	0,081455	0,009063
ROA 32	0,081437	0,081473	0,009049
ROA 33	0,092540	0,092576	0,010730
ROA 34	0,092463	0,092498	0,010719
ROA 35	0,092438	0,092474	0,010715
ROA 36	0,081443	0,081479	0,009039
ROA 37	0,092551	0,092550	0,010724
ROA 38	0,081316	0,081636	0,009057
ROA 39	0,092551	0,092587	0,010715
ROA 40	0,092551	0,092872	0,009088

Fonte: Autoria própria

Tabela 25 – Relação das Alternativas e Requisições

ROA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ROA 1	x											
ROA 2		x										
ROA 3						x						
ROA 4		x										
ROA 5						x						
ROA 6										x		
ROA 7	x											
ROA 8												
ROA 9			x									
ROA 10												
ROA 11												
ROA 12	x											
ROA 13												
ROA 14							x					
ROA 15	x											
ROA 16			x									
ROA 17		x										
ROA 18			x									
ROA 19			x									
ROA 20	x											
ROA 21												
ROA 22			x									
ROA 23												
ROA 24	x											
ROA 25										x		
ROA 26		x										
ROA 27	x											
ROA 28							x			x		
ROA 29		x										
ROA 30			x									
ROA 31												
ROA 32	x											
ROA 33												
ROA 34												
ROA 35	x											
ROA 36	x											
ROA 37				x								
ROA 38	x											
ROA 39			x									
ROA 40										x		

Fonte: Autoria própria

5 CONCLUSÃO

Foi proposta nessa dissertação, uma arquitetura de avaliação para Repositórios de Objetos de Aprendizagem, fazendo uso de métodos multicritério para auxílio a tomada de decisão. A arquitetura é composta pela proposição de adaptação aos métodos DEA, AHP, hibridismo de AHP com DEA, resultando em um método AHP-DEA. Tal arquitetura é avaliada comparativamente com um método para avaliação de ROAs da literatura chamado MCEQLS que faz uso de um método híbrido envolvendo o método AHP e teoria de conjuntos difusos (*fuzzy*), chamado AHP-Fuzzy. A avaliação dos ROAs é importante para a qualidade do ensino e aprendizagem, uma vez que são espaços de armazenamento para recursos educacionais e reutilizados nos mais diversos cenários de ensino e aprendizagem. Nesse sentido, um problema frequentemente enfrentado por quem deseja disponibilizar ou utilizar OAs acessíveis e reutilizáveis é a escolha de um ROA que seja mais adequado em questão de funcionalidade, usabilidade, compatibilidade, confiabilidade e eficiência.

Métodos de tomada de decisão são formas para solucionar este problema e ajudar na decisão de encontrar um ROA que melhor se adéqua a uma determinada necessidade. Com a avaliação realizada é possível, pela própria arquitetura, realizar o ranqueamento dos ROAs possibilitando a seleção do mais bem ranqueado ao usuário.

Cada método que faz parte da arquitetura tem sua particularidade, o método DEA por exemplo, busca, a alternativa de solução do problema considerada relativamente mais eficiente; com o AHP busca-se encontrar as melhores classificações das alternativas, baseadas na modelagem de hierarquia entre alternativas de solução e os critérios para solução do problema que descrevem as alternativas; com o AHP-DEA, além de classificar as alternativas, busca-se entre as mais bem classificadas aquelas relativamente eficientes. Com o método da literatura que utiliza AHP-Fuzzy busca-se a classificação das alternativas como no AHP (hierarquicamente), porém o fator de incerteza acerca dos valores dos pesos para os critérios é resolvido pela utilização da teoria de conjuntos difusos (*fuzzy*), com o auxílio de avaliação inicial por parte de especialistas. Dessa forma com a arquitetura proposta dispõe ao usuário possíveis formas de selecionar ROAs ou realizar uma avaliação, seja ela somente quantitativa ou qualitativa, ou ambas formas nos ROAs candidatos, bem como comparar as avaliações realizadas.

Todos os métodos foram aplicados em um conjunto de 40 ROAs, utilizando a mesma base de dados e utilizando os mesmos Indicadores, bem como as necessidades dos usuários (requisições), de forma a permitir a comparação entre eles. Os

indicadores utilizados foram Funcionalidade, Usabilidade, Confiabilidade e Compatibilidade. Para analisar o atendimento das requisições foram utilizadas uma variável para o método DEA chamada Reusabilidade e para os demais métodos a função de atendimento.

Os pesos foram obtidos através de avaliação de especialistas. Os critérios que compõem os indicadores foram formados por características que podem ser quantificadas visitando e analisando os ROAs e para agrupar todos esses valores, foi criada uma base de dados. Essa base de dados permitiu que fossem feitas as requisições para avaliar os ROAs. As requisições de usuário utilizadas foram hipotéticas, avaliando o melhor, médio e pior caso em uma solicitação mínima, mediana e uma extrema, respectivamente. Como resultados, se observou o comportamento de saída de cada método de forma a verificar se os mesmos estão de acordo com o que está contido na base de dados.

Os resultados de cada método foram compatíveis com o método da literatura e trouxeram resultados aproximados, exceto pelo método com DEA que teve um leve diferença nos resultados em comparação aos demais, isso por que o método DEA realiza a avaliação de eficiência e não levam em consideração a importância do ROA por uma organização de maior pontuação como pelo AHP. O DEA avalia a eficiência dos ROAs levando em consideração o que cada ROA tem disponível na base de dados e se isso é o suficiente para que atenda ao usuário. Contudo se um ROA consegue atender ao usuário e ainda assim permanecer com uma quantidade considerável de critérios disponíveis provavelmente ele será eficiente em requisições posteriores.

Analisando os resultados com DEA que apresentou 18 ROAs eficientes no primeiro experimento, 15 no segundo e apenas 7 no terceiro, é perceptível que em comparação com o AHP, os resultados não foram muito diferentes, o AHP apresentou 15 ROAs com a melhor pontuação, 7 no segundo resultado e apenas 1 no terceiro. Com o AHP-DEA foram usados os 10 melhores classificados pelo AHP como variáveis de saída para avaliação da eficiência. O AHP-DEA, apresentou todos os ROAs eficientes no primeiro resultado, no segundo resultado apresentou 8 e no terceiro permaneceu com 8, com isso foi aplicado o ranqueamento entre eles para uma classificação mais eficaz. Verificando os resultado do MCEQLS o método da literatura, o primeiro resultado foram 15 ROAs, no segundo 7 e 1 no terceiro resultado. Comparando esses resultados pode-se afirmar que em todos os métodos os resultado foram parecidos, entretanto o método que mais se aproximou do método da literatura foi o método AHP, provavelmente por que ambos possuem uma abordagem qualitativa. Assim sendo a arquitetura proposta possui tanto métodos de avaliação qualitativa como de avaliação qualitativa, e outra vantagem é que pode agregar outros métodos de seleção e avaliação.

Algumas limitações foram encontradas no trabalho, como no caso com o método DEA em relação a valores negativos para variáveis. A literatura apresenta maneiras de lidar com esses valores negativos de forma bastante complexa. Contudo, para a proposta desse trabalho solucionou-se tal problema com normalização para números positivos, uma vez que a abordagem utiliza retornos constantes de escala, não influenciando no resultado final do método DEA, porém podem ser relevantes em trabalhos futuros, para o aperfeiçoamento do modelo.

Diferente dos trabalhos relacionados em específico o MCEQLS, a arquitetura proposta permite flexibilidade para o aumento da base de dados com outras unidades de tomadas de decisão (ROAs), como indicadores/ critérios/características. Os números de requisições podem ser modeladas para uma quantidade maior de recursos e outras funcionalidades. Além disso a arquitetura proposta não realiza somente a seleção de ROAs aplicando um único método em apenas um ROA específico, mas dispõe de quatro métodos multicritério incluindo o da literatura, para a seleção e avaliação de ROAs com critérios baseados a partir da norma ISO 25010. Com esses critérios foi possível encontrar as melhores alternativas com alta qualidade e eficiência no conjunto de ROAs.

Com isso, a principal contribuição deste trabalho foi a criação de uma arquitetura, que auxilie o usuário na seleção do mais preparado ROA, de acordo com seus recursos, completude e qualidade, apoiado por sistemas de apoio a decisão. Com o levantamento e definição de indicadores que pudessem facilitar para encontrar a alta qualidade e a eficiência de tais sistemas.

A modelagem para quantificar critérios subjetivos é outra contribuição que somente essa proposta realiza. Assim como a requisição do usuário que calcula o que é solicitado dentro do ROA e o que o mesmo disponibiliza aos seus usuários. Alguns métodos envolvidos neste trabalho já são abordados em outros trabalhos como o AHP e FAHP, porém não são adaptados para a requisição. Outra contribuição foi a avaliação de eficiência com DEA nos ROAs, não foi encontrada na literatura essa abordagem em ROAs assim como não utilizou um modelo híbrido com DEA e AHP. Todos os métodos utilizados na arquitetura demonstraram resultados categórico para a validação da proposta e podem ser reproduzidos tanto com os dados para esta pesquisa que estão contidos nos apêndices como também podem receber dados externos para serem experimentados e comparados.

O objetivo da proposta foi efetivado, contudo pode ser aperfeiçoado, com a criação de outros métodos, bem como a modelagem de outras variáveis/ indicadores que possam possuir contribuir nos resultados. Modelos para avaliação ajudam ao usuário em suas decisões por isso a importância em pesquisas em tais plataformas que ajudem ao usuário a encontrar um ROA de qualidade e também melhorar sig-

nificativamente a acessibilidade e qualidade do conteúdo educacional, sendo assim uma ferramenta apropriada tanto para quem usa tais plataformas como para quem pretende desenvolver.

O desenvolvimento deste trabalho resultou na publicação:

Rosymeire Oliveira da Silva; Adriano Fiorese. Avaliação de Repositórios de Objetos de Aprendizagem baseada na Eficiência Relativa usando Análise Envoltória de Dados. In: **LI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL (SBPO)**, 2019, Limeira, SP. Anais eletrônicos, Campinas, GALOÁ, 2019.

REFERÊNCIAS

- ABDELBASSET, R. et al. Dihya: An intelligent learning object repository. In: **2015 International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL)**. Thessaloniki, Greece: IEEE, 2015. p. 154–159.
- ANDREWS, P.; HARKER, K.; KRAHMER, A. Applying the analytic hierarchy process to an institutional repository collection. In: ACM. **Proceedings of the 18th ACM/IEEE on Joint Conference on Digital Libraries**. New York, NY, USA, 2018. p. 37–40.
- ARAÚJO, M. C. et al. Análise de acessibilidade no ambiente virtual de aprendizagem solar: um estudo de caso para usuários com deficiência visual. In: SÁNCHEZ, J. (Ed.). **XXII Conferência Internacional sobre Informática na Educação**. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2017. v. 13, p. 281–289. ISBN 978-956-19-1043-0.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, INFORMS, Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), Linthicum, Maryland, USA, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, set. 1984. ISSN 0025-1909.
- BAŞARAN, S. Multi-criteria decision analysis approaches for selecting and evaluating digital learning objects. **Procedia Computer Science**, Elsevier, v. 102, p. 251–258, 2016.
- BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Kluwer Academic Publishers: Springer Science & Business Media, 2002.
- BRAGA, J. C. **Objetos de Aprendizagem Vol 1: introdução e fundamentos**. Santo André, SP: Editora da UFABC, 2015. v. 1. 157 p. (Intera, v. 1).
- BRAGA, J. C. et al. Desafios para o desenvolvimento de objetos de aprendizagem reutilizáveis e de qualidade. In: **Anais do Workshop de Desafios da Computação Aplicada à Educação**. Curitiba, Paraná: Congresso da sociedade Brasileira da computação, 2012. p. 90–99.
- BRANS, J.-P.; VINCKE, P.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The promethee method. **European journal of operational research**, Elsevier, v. 24, n. 2, p. 228–238, 1986.
- CAMPOS, G. H. B. de; MARTINS, I.; NUNES, B. P. **Instrumento para a avaliação da qualidade de objetos de aprendizagem**. 5. ed. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/portal/InstrAvaliacao.pdf>.
- CARNEIRO, M. L. F.; SILVEIRA, M. S. Objetos de aprendizagem como elementos facilitadores na educação a distância. **Educar em Revista**, p. 235–260, 2014.
- CECHINEL, C. et al. Mining models for automated quality assessment of learning objects. **J. UCS**, v. 22, n. 1, p. 94–113, 2016.

- CHANG, D.-Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy ahp. **European journal of operational research**, North-Holland, v. 95, n. 3, p. 649–655, 1996.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; FERGUSON, R. O. Optimal estimation of executive compensation by linear programming. **Management science**, INFORMS, v. 1, n. 2, p. 138–151, 1955.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European journal of operational research**, Elsevier, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978.
- COMMITTEE, L. T. S. et al. Ieee standard for learning object metadata. **IEEE Standard**, v. 1484, n. 1, p. 2007–04, 2002.
- CREATIVE DECISIONS FOUNDATION. **SuperDecisions CDF**. 2019. Accesso: 24 ju-nho 2019. Disponível em: <<http://www.creativedecisions.net/about/>>.
- FRIESEN, N.; ROBERTS, A.; FISHER, S. Cancore: Metadata for learning objects. **Canadian Journal of Learning and Technology/La revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie**, Canadian Network for Innovation in Education, v. 28, n. 3, 2002.
- GABUS, A.; FONTELA, E. Perceptions of the world problematique: Communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility. DEMATEL report, 1973.
- GASPARINI, I. et al. Adaptweb®-evolução e desafios. **Cadernos de Informática**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 4, n. 2, p. 47–56, 2009.
- GLADCHEFF, A. P. Um instrumento de avaliação da qualidade para software educacional de matemática. **São Paulo. Dissertação (Mestrado)–Departamento de Ciência da Computação, Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo**, 2001.
- GORDILLO, A.; BARRA, E.; QUEMADA, J. A hybrid recommendation model for learning object repositories. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 15, n. 3, p. 462–473, 2017.
- HUANG, T.; CHEN, Y.; ZHANG, H. Research on similarity fusion in knowledge fusion of learning object repository based on fuzzy set theory. In: ACM. **Proceedings of the International Conference on Digital Technology in Education**. Taipei, Taiwan, 2017. p. 79–83.
- HWANG, C.-L.; YOON, K. Methods for multiple attribute decision making. In: **Multiple attribute decision making**. Berlin, Heidelberg: Springer, 1981. p. 58–191.
- IEIRI, A. Y.; BRAGA, J. C. The development of a lor user interface lo-fi prototype using the bruno munari method. In: IEEE. **2016 XI Latin American Conference on Learning Objects and Technology (LACLO)**. San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2016. p. 1–11.
- İNCE, M.; YİĞİT, T.; İŞIK, A. Ahp-topsis method for learning object metadata evaluation. **International Journal of Information and Education Technology**, v. 7, n. 12, 2017.

- İNCE, M.; YİĞİT, T.; İŞIK, A. H. A hybrid ahp-ga method for metadata-based learning object evaluation. **Neural Computing and Applications**, Springer, v. 31, n. 1, p. 671–681, 2019.
- ISHAK, S. M. I. M.; NOOR, S. F. M. Heuristic evaluation of learning object repository interfaces. In: IEEE. **2017 3rd International Conference on Science in Information Technology (ICSI Tech)**. Bandung, Indonesia, 2017. p. 13–17.
- ISHIZAKA, A.; NEMERY, P. **Multi-criteria decision analysis: methods and software**. New Delhi, India: John Wiley & Sons, 2013.
- JUNQUEIRA, R. de P.; LÓSCIO, B. F. Repositórios de objetos de aprendizagem: uma análise comparativa com ênfase no reúso de conteúdos. In: **Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. Dourado, MS: SBIE, 2014. v. 25, n. 1, p. 988.
- KEMCZINSKI, A. et al. Repositório de objetos de aprendizagem para a área de computação e informática-roai. In: **Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)**. Aracaju, Sergipe: SBIE, 2011. v. 1.
- KOOPMANS, T. C. An analysis of production as an efficient combination of activities. **Activity analysis of production and allocation**, Wiley, 1951.
- KURILOVAS, E. Mceqls approach in multi-criteria evaluation of quality of learning repositories. In: **Innovations in XML Applications and Metadata Management: Advancing Technologies**. Hershey, PA: IGI Global, 2013. p. 96–117.
- KURILOVAS, E.; DAGIENE, V. Technological evaluation and optimization of e-learning systems components. In: **E-Infrastructures and Technologies for Lifelong Learning: Next Generation Environments**. Hershey, PA: IGI Global, 2011. p. 150–173.
- KURILOVAS, E.; VINOGRADOVA, I.; KUBILINSKIENE, S. New mceqls fuzzy ahp methodology for evaluating learning repositories: a tool for technological development of economy. **Technological and Economic Development of Economy**, Taylor & Francis, v. 22, n. 1, p. 142–155, 2016.
- LARA, G. A.; DELGADO, M.; MARÍN, N. Fuzzy multidimensional modelling for flexible querying of learning object repositories. In: SPRINGER. **International Conference on Flexible Query Answering Systems**. Berlin, Heidelberg, 2013. p. 112–123.
- LUNA, D. E. et al. Using data envelopment analysis (dea) to assess government web portals performance. In: ACM. **Proceedings of the 13th annual international conference on digital government research**. College Park, Maryland, USA, 2012. p. 107–115.
- MANOJ MATHEW. **FAHP**. 2019. Acesso: 25 de Fevereiro 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=5k3Wz1AfVWs>>.
- MARKONI, M. d. A.; LAKATOS, E. M. Fundamentos de metodologia científica. **São Paulo: Atlas**, 1991.

MCGREAL, R. A typology of learning object repositories. In: **Handbook on information technologies for education and training**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. p. 5–28.

MELO, N. Moraes Tavares de et al. Estudo e desenvolvimento de uma plataforma acessível pela web para acompanhamento de conteúdos instrucionais. Universidade Federal da Paraíba, 2013.

MEZA, L. A.; GOMES, E. G.; NETO, L. B. Curso de análise de envoltória de dados. In: **XXXVII Simpósio brasileiro de pesquisa operacional**. Gramado, RS: SBPO, 2005. p. 2520–2547.

MORAES, L. B. de; FIORESE, A.; MATOS, F. A multi-criteria scoring method based on performance indicators for cloud computing provider selection. In: **ICEIS (2)**. Porto, Portugal: International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS), 2017. p. 588–599.

NESBIT, J.; BELFER, K.; VARGO, J. A convergent participation model for evaluation of learning objects. **Canadian Journal of Learning and Technology/La revue canadienne de l'apprentissage et de la technologie**, Canadian Network for Innovation in Education, v. 28, n. 3, 2002.

NESBIT, J. C.; BELFER, K.; LEACOCK, T. Learning object review instrument (lori). **E-learning research and assessment network**, 2003.

NEWHOUSE, S. Software repository—evaluation criteria and dissemination. **Open Middleware Infrastructure Institute, University of Southampton.[online]**, <http://www.omii.ac.uk/dissemination/EvaluationCriteria.pdf>, 2005.

OCHOA, X.; CARRILLO, G.; CECHINEL, C. Use of a semantic learning repository to facilitate the creation of modern e-learning systems. In: ACM. **Proceedings of the XV International Conference on Human Computer Interaction**. Puerto de la Cruz, Tenerife, Spain, 2014. p. 92.

PASchalidou, G.; STIAKAKIS, E.; CHATZIGEORGIOU, A. An application of data envelopment analysis to software quality assessment. In: ACM. **Proceedings of the 6th Balkan Conference in Informatics**. Thessaloniki, Greece, 2013. p. 228–235.

RIBEIRO, S. P.; FREITAG, V. da C.; SELLITTO, M. A. Instrumento de mensuração de qualidade de materiais didáticos para a educação à distância. **RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia**, v. 21, n. 1, p. 239–259, 2018.

ROY, B. The outranking approach and the foundations of electre methods. In: **Readings in multiple criteria decision aid**. Berlin, Heidelberg: Springer, 1990. p. 155–183.

RUSTICI SOFTWARE. **Sharable Content Object Reference Model**. 2019. Accesso: 24 junho 2019. Disponível em: <<https://scorm.com/scorm-explained/technical-scorm/content-packaging/metadata-structure/>>.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process mcgraw-hill. **New York**, v. 324, 1980.

- SAATY, T. L. **Decision making with dependence and feedback: The analytic network process**. Pittsburgh, USA: RWS Publ., 1996. v. 4922.
- SAATY, T. L. Decision making—the analytic hierarchy and network processes (ahp/anp). **Journal of systems science and systems engineering**, Springer, v. 13, n. 1, p. 1–35, 2004.
- SAHRONI, T. R.; ARIFF, H. Design of analytical hierarchy process (ahp) for teaching and learning. In: IEEE. **2016 11th International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (KICSS)**. TYogyakarta, Indonesia, 2016. p. 1–4.
- SEXTON, T.; SILKMAN, R.; HOGAN, R. Measuring efficiency: an assessment of data envelopment analysis, new directions for program evaluations. **Measuring efficiency: an assessment of data envelopment analysis**. Publication, n. 32, p. 25, 1986.
- SILVA, A. M. d. Análise multicritério das técnicas de gestão do conhecimento no ensino a distância. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2018.
- STANDARDIZATION, I. O. for. **Systems and Software Engineering: Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE): Measurement of System and Software Product Quality**. Geneva, Switzerland: ISO, 2016.
- TAROUCO, L. M. R. et al. **Objetos de Aprendizagem: teoria e prática**. 1. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2014. 504 p.
- TELEDUC. **UNICAMP**. 1997. Accesso: 25 de Fevereiro 2020. Disponível em: <<https://www.nied.unicamp.br/projeto/teleduc/>>.
- THE LEGO GROUP. **The Lego Group**. 1932. Accesso: 20 junho 2019. Disponível em: <<https://www.lego.com/en-us/aboutus/lego-group>>.
- WAZLAWICK, R. **Metodologia de pesquisa para ciência da computação, 2ª edição**. Rio de Janeiro – RJ – Brasil: Elsevier Brasil, 2014.
- WEIBEL, S. et al. **Dublin core metadata for resource discovery**. University of California, San Francisco, 1998.
- Yang, Z.; Shi, Y. Scale expansion and operations inefficiency in pure e-commerce firms. In: **2016 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence Workshops (WIW)**. Omaha, NE, USA: [s.n.], 2016. p. 54–57.
- YIGIT, T.; ISIK, A. H.; INCE, M. Multi criteria decision making system for learning object repository. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, Elsevier, v. 141, p. 813–816, 2014.
- YIGIT, T.; ISIK, A. H.; INCE, M. Web-based learning object selection software using analytical hierarchy process. **IET software**, IET, v. 8, n. 4, p. 174–183, 2014.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**, Elsevier, v. 8, n. 3, p. 338–353, 1965.
- ZARE, M. et al. Multi-criteria decision making approach in e-learning: A systematic review and classification. **Applied Soft Computing**, Elsevier, v. 45, p. 108–128, 2016.

ZERVAS, P.; ALIFRAGKIS, C.; SAMPSON, D. G. A quantitative analysis of learning object repositories as knowledge management systems. **Knowledge Management & E-Learning: An International Journal**, v. 6, n. 2, p. 156–170, 2014.

APÊNDICE A – DADOS UTILIZADOS PARA O DEA

A Tabela A.26 contém todos os valores das variáveis testadas com DEA. Particularmente, os valores para as variáveis de entrada utilizadas com esse método permanecem fixas independentemente dos critérios e valores requeridos pelo usuário. O mesmo acontece com a variável de saída Usabilidade. Nesses casos, os valores dessas variáveis dependem exclusivamente dos valores associados às características coletadas nos respectivos ROAs. A exceção ocorre com a variável Reusabilidade que modela a capacidade remanescente de recursos nos ROAs caso fossem consumidos pelo requisitado pelo usuário, e portanto. Todas essas variáveis foram normalizadas utilizando as Equações 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5. Após a normalização, os valores dessas variáveis foram utilizados pelo *software SIAD* (MEZA; GOMES; NETO, 2005), que calculou a eficiência relativa para cada um dos ROAs envolvidos. O resultado do cálculo da eficiência relativa, bem como da média de eficiência cruzada que estabelece o ranqueamento dos ROAs pode ser observado na Tabela 19.

Tabela A.26 – Valores das variáveis de Entrada e Saída normalizados para o método DEA

ROA	Funcionalidade	Confiabilidade	Compatibilidade	Usabilidade	Reus. 1	Reus. 2	Reus. 3
ROA 1	0.023656	0.018462	0.030043	0.032904	0,011997	0,025518	0,038538
ROA 2	0.008602	0.003077	0.015021	0.045780	0,000000	0,000000	0,028223
ROA 3	0.027957	0.033846	0.023605	0.027182	0,018329	0,026583	0,033616
ROA 4	0.027957	0.033846	0.012876	0.034335	0,009465	0,019492	0,033577
ROA 5	0.027957	0.027692	0.019313	0.027182	0,016812	0,025369	0,036932
ROA 6	0.036559	0.033846	0.023605	0.028612	0,019978	0,027903	0,038250
ROA 7	0.023656	0.030769	0.034335	0.032904	0,018330	0,022584	0,033158
ROA 8	0.021505	0.030769	0.027897	0.028612	0,015109	0,020008	0,032100
ROA 9	0.023656	0.030769	0.040773	0.030043	0,024798	0,023758	0,031157
ROA 10	0.023656	0.018462	0.023605	0.022890	0,012049	0,013559	0,027472
ROA 11	0.017204	0.024615	0.023605	0.012876	0,011969	0,017495	0,023711
ROA 12	0.030108	0.018462	0.023605	0.035765	0,018542	0,018754	0,035542
ROA 13	0.008602	0.012308	0.023605	0.014306	0,006434	0,009067	0,019769
ROA 14	0.036559	0.024615	0.021459	0.024320	0,023332	0,026586	0,035209
ROA 15	0.010753	0.015385	0.015021	0.015737	0,004810	0,003768	0,016608
ROA 16	0.019355	0.021538	0.010730	0.024320	0,011249	0,016919	0,026072
ROA 17	0.032258	0.036923	0.019313	0.028612	0,016705	0,013284	0,028125
ROA 18	0.006452	0.009231	0.008584	0.012876	0,001695	0,001276	0,016576
ROA 19	0.019355	0.024615	0.015021	0.032904	0,012819	0,010176	0,029887
ROA 20	0.010753	0.024615	0.019313	0.011445	0,012819	0,010176	0,019622
ROA 21	0.008602	0.015385	0.023605	0.014306	0,008031	0,006344	0,000000
ROA 22	0.008602	0.000000	0.042918	0.017167	0,017108	0,013606	0,021049
ROA 23	0.030108	0.018462	0.038627	0.017167	0,024958	0,023887	0,030049

Continuação Tabela A.26

ROA	Funcionalidade	Confiabilidade	Compatibilidade	Usabilidade	Reus.1	Reus.2	Reus.3
ROA 24	0.030108	0.009231	0.025751	0.021459	0,012955	0,014284	0,028330
ROA 25	0.047312	0.036923	0.040773	0.035765	0,034458	0,035486	0,053864
ROA 26	0.025806	0.036923	0.025751	0.024320	0,018276	0,018541	0,035888
ROA 27	0.030108	0.018462	0.027897	0.022890	0,020140	0,024032	0,033641
ROA 28	0.040860	0.036923	0.030043	0.037196	0,026367	0,029014	0,041264
ROA 29	0.025806	0.036923	0.017167	0.020029	0,018354	0,014603	0,026004
ROA 30	0.032258	0.027692	0.034335	0.030043	0,028124	0,022419	0,033223
ROA 31	0.030108	0.015385	0.036481	0.030043	0,020914	0,020651	0,040937
ROA 32	0.019355	0.021538	0.010730	0.021459	0,012101	0,013601	0,027106
ROA 33	0.023656	0.036923	0.023605	0.024320	0,016679	0,017263	0,030508
ROA 34	0.023656	0.036923	0.023605	0.028612	0,015055	0,013388	0,029614
ROA 35	0.021505	0.036923	0.015021	0.022890	0,010211	0,009512	0,026416
ROA 36	0.040860	0.015385	0.032189	0.018598	0,028284	0,023970	0,031789
ROA 37	0.030108	0.036923	0.049356	0.031474	0,036029	0,026167	0,036430
ROA 38	0.032258	0.021538	0.019313	0.018598	0,018489	0,020135	0,028611
ROA 39	0.025806	0.043077	0.027897	0.011445	0,024689	0,021095	0,028884
ROA 40	0.036559	0.024615	0.023605	0.028612	0,024956	0,025308	0,038351

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B – DADOS UTILIZADOS PARA O MÉTODO AHP

Os dados neste apêndice são referente ao método AHP. A Tabela B.1 apresenta a forma para se encontrar os pesos dos valores dos critérios, relacionados ao atendimento da requisição do usuário para o método proposto que utiliza o AHP. Nesse caso, na tabela de julgamento correspondente ao critério em questão, na comparação entre dois valores, aqueles que recebem nove (9) atendem ao critério da requisição e 1 é atribuído a comparação entre valores que quando não atendem. Assim, por exemplo, para o critério Formatos (Fo), os valores 3, 4, 5, 6 e 9 possuem mesma importância entre si e todos eles atendem a primeira requisição do usuário relativa ao critério Formatos ($reqFo = 3$), portanto na comparação de 3, 4, 5, 6 e 9 com 1, o valor 9 na matriz de julgamento, conforme Tabela B.1. Para o inverso o valor é 1/9, e na comparação entre si, o valor é 1 representando a mesma importância (não atendimento).

A Tabela B.2 mostra a normalização da matriz de atendimento da Tabela B.1. O processo de normalização se dá somando-se a coluna da matriz de atendimento (matriz de julgamento) e depois dividindo-se esses valores que estão contidos na Tabela B.1, pela soma calculada. Assim, os pesos dos valores são dados pela média de cada linha da matriz da Tabela B.2, conforme pode-se observar na última coluna daquela matriz.

Assim, como executado para o critério de formato, o mesmo é realizado para o demais critérios para cada requisição do usuário. Esse processo de avaliação de atendimento da requisição do usuário de forma a obter-se pesos para os valores dos critérios envolvidos de cada ROA, além do método AHP, também é realizado para o método AHP-DEA e adaptado ao método da literatura MCEQLS.

Os dados da Tabela B.3 contém na primeira linha os critérios que estão sendo requisitados pelo usuário na sua primeira requisição. Na segunda linha são apresentados os pesos dos Indicadores, cujos critérios fazem parte, dados pelos especialistas, esses pesos que estão normalizado na Tabela 14. Esses valores são multiplicados pelos valores nas colunas, exceto pela primeira coluna, onde constam os ROAs, para encontrar a pontuação final de cada uma das alternativas. Os valores de cada coluna para cada ROA correspondem aos pesos dos valores dos critérios de cada ROA, obtidos conforme a avaliação de atendimento demonstrada pela Tabelas B.1 e B.2. Finalmente, os valores da multiplicação dos pesos dos especialistas para os Indicadores, pelos valores dos pesos dos valores daqueles critérios nos ROAs, conforme atendimento da requisição do usuário, são somados para encontrar o valor de classificação de cada alternativa (ROA). Ou seja, é executado o procedimento de pontuação

do AHP. Assim, esses valores de pontuação/classificação AHP, para cada ROA, de acordo com a primeira requisição do usuário constam na última coluna da Tabela B.3.

Esses processos foram realizados para cada uma das requisições. Assim, na Tabela B.3 constam os dados da primeira requisição, na Tabela B.4 os dados da segunda requisição e finalmente, na Tabela B.5 os dados referentes a terceira requisição.

Tabela B.1 – Matriz de Julgamento para o atendimento de Formatos

Formatos	1	2	3	4	5	6	9
1	1	1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
2	1	1	1	1	1	1	1
3	9	1	1	1	1	1	1
4	9	1	1	1	1	1	1
5	9	1	1	1	1	1	1
6	9	1	1	1	1	1	1
9	9	1	1	1	1	1	1

Fonte: Autoria própria

Tabela B.2 – Normalização da Matriz de Julgamento para o atendimento de Formatos

Formatos	1	2	3	4	5	6	9	Pesos
1	0,0213	0,1429	0,0182	0,0182	0,0182	0,0182	0,0182	0,0364
2	0,0213	0,1429	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1403
3	0,1915	0,1429	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1646
4	0,1915	0,1429	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1646
5	0,1915	0,1429	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1646
6	0,1915	0,1429	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1646
9	0,1915	0,1429	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1636	0,1646

Fonte: Autoria própria

Tabela B.3 – Dado para a primeira requisição e pontuação com AHP

ROAs	Re	Fo	Cl	Me	Pontuação
	0,09091	0,09091	0,23072	0,52831	
ROA1	0,082638	0,164647	0,021107	0,081111	0,070205
ROA2	0,082638	0,140331	0,000000	0,081111	0,063124
ROA3	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA4	0,076545	0,164647	0,021107	0,092222	0,075521
ROA5	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA6	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA7	0,082638	0,164647	0,021107	0,092222	0,076075
ROA8	0,082638	0,164647	0,021107	0,092222	0,076075
ROA9	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA10	0,082638	0,164647	0,099156	0,081111	0,088213
ROA11	0,082638	0,164647	0,021107	0,092222	0,076075
ROA12	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,090707
ROA13	0,082638	0,164647	0,000000	0,081111	0,065334
ROA14	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA15	0,082638	0,140331	0,021107	0,081111	0,067994
ROA16	0,076545	0,140331	0,109967	0,081111	0,087942
ROA17	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA18	0,014442	0,164647	0,021107	0,081111	0,064004
ROA19	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA20	0,082638	0,164647	0,099156	0,092222	0,094083
ROA21	0,082638	0,164647	0,021107	0,081111	0,070205
ROA22	0,082638	0,164647	0,021107	0,000000	0,027352
ROA23	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,090707
ROA24	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,090707
ROA25	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA26	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA27	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,090707
ROA28	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA29	0,076545	0,164647	0,109967	0,092222	0,096023
ROA30	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA31	0,082638	0,140331	0,109967	0,081111	0,088496
ROA32	0,076545	0,164647	0,109967	0,081111	0,090153
ROA33	0,082638	0,164647	0,099156	0,092222	0,094083
ROA34	0,082638	0,164647	0,021107	0,092222	0,076075
ROA35	0,082638	0,140331	0,021107	0,092222	0,073864
ROA36	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,090707
ROA37	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA38	0,082638	0,036435	0,109967	0,081111	0,079050
ROA39	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA40	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577

Fonte: Autoria própria

Tabela B.4 – Dados para a segunda requisição e pontuação com AHP

ROAs	Re	Fo	CI	Co	Me	Pontuação
	0,09091	0,09091	0,23072	0,23072	0,52831	
ROA1	0,082638	0,164647	0,021107	0,321429	0,081111	0,144367
ROA2	0,082638	0,140331	0,000000	0,000000	0,081111	0,063124
ROA3	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA4	0,076545	0,164647	0,021107	0,321429	0,092222	0,149683
ROA5	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA6	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA7	0,082638	0,164647	0,021107	0,321429	0,092222	0,150237
ROA8	0,082638	0,164647	0,021107	0,321429	0,092222	0,150237
ROA9	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,092222	0,104817
ROA10	0,082638	0,164647	0,099156	0,035714	0,081111	0,096453
ROA11	0,082638	0,164647	0,021107	0,321429	0,092222	0,150237
ROA12	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,098947
ROA13	0,082638	0,164647	0,000000	0,035714	0,081111	0,073575
ROA14	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA15	0,082638	0,140331	0,021107	0,000000	0,081111	0,067994
ROA16	0,076545	0,140331	0,109967	0,321429	0,081111	0,162105
ROA17	0,082638	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,096577
ROA18	0,014442	0,164647	0,021107	0,000000	0,081111	0,064004
ROA19	0,082638	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,096577
ROA20	0,082638	0,164647	0,099156	0,000000	0,092222	0,094083
ROA21	0,082638	0,164647	0,021107	0,000000	0,081111	0,070205
ROA22	0,082638	0,164647	0,021107	0,000000	0,000000	0,027352
ROA23	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,098947
ROA24	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,098947
ROA25	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA26	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,092222	0,104817
ROA27	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,081111	0,164869
ROA28	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA29	0,076545	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,096023
ROA30	0,082638	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,096577
ROA31	0,082638	0,140331	0,109967	0,035714	0,081111	0,096736
ROA32	0,076545	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,098393
ROA33	0,082638	0,164647	0,099156	0,035714	0,092222	0,102323
ROA34	0,082638	0,164647	0,021107	0,035714	0,092222	0,084315
ROA35	0,082638	0,140331	0,021107	0,035714	0,092222	0,082104
ROA36	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,098947
ROA37	0,082638	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,096577
ROA38	0,082638	0,036435	0,109967	0,321429	0,081111	0,153213
ROA39	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,092222	0,104817
ROA40	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740

Fonte: Autoria própria

Tabela B.5 – Dados para a terceira requisição e pontuação com AHP

ROAS	Re	Fo	Cl	Ar	Cp	Na	Int	Ac	Me	Pontuação
	0,09091	0,23072	0,23072	0,23072	0,23072	0,15003	0,15003	0,15003	0,52831	
ROA1	0,086240	0,137986	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,162599	0,080505	0,030019
ROA2	0,074629	0,137986	0,000000	0,214286	0,000000	0,077335	0,134597	0,197686	0,053838	0,017631
ROA3	0,074629	0,137986	0,098292	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,000000	0,095657	0,028771
ROA4	0,074629	0,137986	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,046656	0,095657	0,028858
ROA5	0,074629	0,137986	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,162599	0,080505	0,030945
ROA6	0,074629	0,167290	0,098292	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,029844
ROA7	0,086240	0,167290	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,000000	0,095657	0,028493
ROA8	0,074629	0,167290	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,028325
ROA9	0,086240	0,167290	0,098292	0,000000	0,035714	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,015923
ROA10	0,074629	0,167290	0,097578	0,261905	0,035714	0,077335	0,134597	0,046656	0,080505	0,021612
ROA11	0,074629	0,167290	0,039041	0,214286	0,321429	0,070009	0,093039	0,000000	0,080505	0,024622
ROA12	0,074629	0,167290	0,112085	0,261905	0,035714	0,077335	0,184287	0,162599	0,080505	0,024745
ROA13	0,074629	0,137986	0,000000	0,214286	0,035714	0,070009	0,134597	0,000000	0,080505	0,016694
ROA14	0,074629	0,137986	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,046656	0,080505	0,029013
ROA15	0,074629	0,137986	0,039041	0,214286	0,000000	0,070009	0,093039	0,000000	0,080505	0,016086
ROA16	0,074629	0,137986	0,112085	0,000000	0,321429	0,077335	0,134597	0,046656	0,080505	0,022298
ROA17	0,074629	0,167290	0,098292	0,261905	0,000000	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,021604
ROA18	0,046400	0,137986	0,039041	0,214286	0,000000	0,070009	0,093039	0,046656	0,080505	0,016579
ROA19	0,074629	0,137986	0,098292	0,214286	0,000000	0,077335	0,134597	0,197686	0,080505	0,021716
ROA20	0,074629	0,167290	0,097578	0,214286	0,000000	0,031269	0,134597	0,000000	0,080505	0,017930
ROA21	0,074629	0,137986	0,039041	0,214286	0,000000	0,070009	0,093039	0,000000	0,080505	0,016086
ROA22	0,086240	0,167290	0,039041	0,000000	0,000000	0,070009	0,134597	0,000000	0,000000	0,006973

Continuação Tabela B.5

ROAs	Re	Fo	Ci	Ar	Cp	Na	Int	Ac	Me	Pontuação
	0,09091	0,09091	0,23072	0,23072	0,23072	0,15003	0,15003	0,15003	0,52831	
ROA23	0,086240	0,167290	0,1112085	0,261905	0,035714	0,070009	0,134597	0,000000	0,080505	0,021201
ROA24	0,074629	0,137986	0,098292	0,261905	0,035714	0,070009	0,184287	0,046656	0,080505	0,022041
ROA25	0,086240	0,167290	0,1112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,197686	0,095657	0,033662
ROA26	0,074629	0,137986	0,098292	0,261905	0,035714	0,070009	0,134597	0,197686	0,095657	0,024619
ROA27	0,074629	0,167290	0,1112085	0,261905	0,321429	0,070009	0,134597	0,162599	0,080505	0,029899
ROA28	0,086240	0,137986	0,1112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,162599	0,095657	0,032781
ROA29	0,074629	0,167290	0,098292	0,214286	0,000000	0,070009	0,134597	0,046656	0,095657	0,020261
ROA30	0,086240	0,167290	0,1112085	0,261905	0,000000	0,077335	0,093039	0,046656	0,080505	0,020493
ROA31	0,086240	0,137986	0,1112085	0,261905	0,035714	0,070009	0,184287	0,197686	0,080505	0,025029
ROA32	0,074629	0,167290	0,098292	0,214286	0,035714	0,070009	0,134597	0,162599	0,080505	0,022220
ROA33	0,074629	0,167290	0,097578	0,261905	0,035714	0,070009	0,184287	0,046656	0,095657	0,023208
ROA34	0,074629	0,167290	0,039041	0,261905	0,035714	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,021001
ROA35	0,074629	0,137986	0,039041	0,261905	0,035714	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,020705
ROA36	0,086240	0,167290	0,1112085	0,261905	0,035714	0,070009	0,134597	0,000000	0,080505	0,021201
ROA37	0,086240	0,167290	0,1112085	0,214286	0,000000	0,077335	0,184287	0,046656	0,095657	0,021683
ROA38	0,074629	0,054869	0,1112085	0,261905	0,321429	0,070009	0,134597	0,000000	0,080505	0,027273
ROA39	0,074629	0,167290	0,1112085	0,261905	0,035714	0,031269	0,134597	0,000000	0,095657	0,021328
ROA40	0,074629	0,167290	0,1112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,162599	0,080505	0,031241

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE C – DADOS UTILIZADOS PARA O AHP-DEA

O método AHP-DEA é uma extensão do método AHP. Portanto, é necessário realizar todos os procedimentos contidos no Apêndice B, para obtenção dos pesos dos valores dos critérios e pontuação final para cada ROA. Nesse sentido, com o AHP-DEA, uma vez obtida a pontuação do ROAs, para cada uma das requisições do usuário, é realizado um filtro no resultado do método AHP resultando nos 10 ROAs melhor classificados que são então avaliados de acordo com o método DEA. Nesse sentido, a Tabela C.1 apresenta a classificação AHP da primeira requisição do usuário. Essa pontuação para esses 10 ROAs será usada no método como a variável de saída DEA chamada classificação AHP. Essa variável de saída será utilizada em conjunto com as variáveis de entrada Funcionalidade, Confiabilidade e Compatibilidade presentes na Tabela C.4. Assim, o resultado do método AHP-DEA para a primeira requisição pode ser observado na Tabela 21.

Para a segunda requisição serão utilizados os valores de pontuação da Tabela C.2, junto com as variáveis de entrada na Tabela C.5, gerando como resultado a Tabela 22.

Por fim, na Tabela C.3 é apresentado o resultado para a terceira requisição e para encontrar a eficiência dos ROAs será calculada com os variáveis de entrada na Tabela C.6, gerando os resultados presentes na Tabela 23.

Tabela C.1 – Pontuação para a primeira requisição com AHP-DEA

ROAs	Re	Fo	CI	Me	Pontuação
	0,09091	0,09091	0,23072	0,52831	
ROA3	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA5	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA6	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA14	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA25	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA28	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA30	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA37	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA39	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577
ROA40	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,096577

Fonte: Autoria própria

Tabela C.2 – Pontuação para a segunda requisição com AHP-DEA

ROAs	Re	Fo	Cl	Co	Me	Pontuação
	0,09091	0,09091	0,23072	0,23072	0,52831	
ROA3	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA5	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA6	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA14	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA16	0,076545	0,140331	0,109967	0,321429	0,081111	0,162105
ROA25	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA27	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,081111	0,164869
ROA28	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740
ROA38	0,082638	0,036435	0,109967	0,321429	0,081111	0,153213
ROA40	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,170740

Fonte: Autoria própria

Tabela C.3 – Pontuação para a terceira requisição com AHP-DEA

ROAS	Re	Fo	Cl	Ar	Cp	Na	Int	Ac	Me	Pontuação
	0,09091	0,09091	0,23072	0,23072	0,23072	0,15003	0,15003	0,15003	0,52831	
ROA1	0,086240	0,137986	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,162599	0,080505	0,030019
ROA3	0,074629	0,137986	0,098292	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,095657	0,028771	
ROA4	0,074629	0,137986	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,046656	0,095657	0,028858
ROA5	0,074629	0,137986	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,162599	0,080505	0,030945
ROA6	0,074629	0,167290	0,098292	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,029844
ROA14	0,074629	0,137986	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,046656	0,080505	0,029013
ROA25	0,086240	0,167290	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,197686	0,095657	0,033662
ROA27	0,074629	0,167290	0,112085	0,261905	0,321429	0,070009	0,134597	0,162599	0,080505	0,029899
ROA28	0,086240	0,137986	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,162599	0,095657	0,032781
ROA40	0,074629	0,167290	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,162599	0,080505	0,031241

Fonte: Autoria própria

Tabela C.4 – Variáveis de entrada para a primeira Requisição com AHP-DEA

ROA	Funcionalidade	Confiabilidade	Compatibilidade
ROA 3	0,027957	0,033846	0,023605
ROA 5	0,027957	0,027692	0,019313
ROA 6	0,036559	0,033846	0,023605
ROA 14	0,036559	0,024615	0,021459
ROA 25	0,047312	0,036923	0,040773
ROA 28	0,040860	0,036923	0,030043
ROA 30	0,032258	0,027692	0,034335
ROA 37	0,030108	0,036923	0,049356
ROA 39	0,025806	0,043077	0,027897
ROA 40	0,036559	0,024615	0,023605

Fonte: Autoria própria

Tabela C.5 – Variáveis de entrada para a segunda requisição com AHP-DEA

ROA	Funcionalidade	Confiabilidade	Rk Compatibilidade
ROA 3	0,027957	0,033846	0,023605
ROA 5	0,027957	0,027692	0,019313
ROA 6	0,036559	0,033846	0,023605
ROA 14	0,036559	0,024615	0,021459
ROA 16	0,019355	0,021538	0,010730
ROA 25	0,047312	0,036923	0,040773
ROA 27	0,030108	0,027897	0,018462
ROA 28	0,040860	0,036923	0,030043
ROA 38	0,032258	0,021538	0,019313
ROA 40	0,036559	0,024615	0,023605

Fonte: Autoria própria

Tabela C.6 – Variáveis de entrada para a terceira requisição com AHP-DEA

ROA	Funcionalidade	Confiabilidade	Rk Compatibilidade
ROA 1	0,023656	0,018462	0,030043
ROA 3	0,027957	0,033846	0,023605
ROA 4	0,027957	0,033846	0,012876
ROA 5	0,027957	0,027692	0,019313
ROA 6	0,036559	0,033846	0,023605
ROA 14	0,036559	0,024615	0,021459
ROA 25	0,047312	0,036923	0,040773
ROA 27	0,030108	0,027897	0,018462
ROA 28	0,040860	0,036923	0,030043
ROA 40	0,036559	0,024615	0,023605

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE D – DADOS UTILIZADOS PARA O MCEQLS

Neste apêndice constam os valores intermediários para a construção do método MCEQLS. Primeiramente é necessário obter os pesos para os critérios em relação ao objetivo do problema, utilizando-se os valores atribuídos pelos especialistas. A partir dos valores atribuídos pelos especialistas é possível construir a matriz de julgamento *fuzzy*, que manipulada, ao final do processo, determinará os valores desses pesos. Nesse sentido, a Tabela D.1 apresenta a matriz de julgamento *fuzzy* dos dados da Tabela 13, que apresenta os valores de julgamento pareado entre os critérios, atribuídos pelos especialistas. Podemos observar que a matriz *fuzzy* de comparação entre os critérios leva em consideração a relevância de um critério sobre o outro, utilizando números *fuzzy* triangulares. Como vários especialistas (4) atribuíram valores ao julgamento pareado entre os critérios, na proposta desse foi adotada a média entre esses valores, para a partir daí seguir com o processo de obter-se os pesos para cada critério. Nesse sentido, a Tabela D.2 apresenta as médias dos julgamentos dos especialistas, já fuzzificados.

Após calcular a média, é aplicado a Equação 2.4, que forma as seguintes operações: primeiro realiza a soma dos valores de cada parâmetro da Tabela D.2. Somando esses valores encontramos os valores S_i , que representa o peso *fuzzy* de cada critério. Os valores encontrados da soma são:

$$S1 = (12, 893; 14, 397; 15, 903)$$

$$S2 = (9, 943; 10, 955; 11, 966)$$

$$S3 = (23, 556; 23, 561; 23, 564)$$

$$S4 = (4, 8; 5.332; 5.873)$$

O próximo passo é a multiplicação escalar desses valores *fuzzy* triangulares, esse processo calcula os valores de acordo com cada parâmetro, que resulta nos seguintes valores: 51, 20; 54, 79; 57, 30. Para a próxima operação esses valores devem ser os inversos que multiplicado pelo valor da média *fuzzy* para a obtenção do peso *fuzzy* dos critérios S_i . Conforme demonstrado a seguir:

$$S1 = (12, 893; 14, 397; 15, 903) * (1/57, 30; 1/54.79, 1/51.20)$$

$$S2 = (9, 943; 10, 955; 11, 966) * (1/57, 30; 1/54.79, 1/51.20)$$

$$S3 = (23, 556; 23, 561; 23, 564) * (1/57, 30; 1/54.79, 1/51.20)$$

$$S4 = (4, 8; 5.332; 5.873) * (1/57, 30; 1/54.79, 1/51.20)$$

Com o resultado dessa multiplicação temos os valores:

$$S1 = (0.225; 0, 263; 0, 310)$$

$$S2 = (0.174; 0, 200; 0, 234)$$

$$S3 = (0.412; 0, 430; 0, 460)$$

$$S4 = (0.084; 0, 098; 0, 115)$$

Para esses valores é aplicada a Equação 2.5, que calcula o grau de possibilidade de cada valor S_i e efetua a defuzzificação dos valores comparando o quanto um número *fuzzy* é maior ou igual a outro de acordo com a sua altura. Ou seja o grau de possibilidade de cada número *fuzzy* $V(M_i)$ deve ser comparado com os graus dos demais números, gerando para o número comparado um valor representante para o peso final do critério associado com o índice desse número *fuzzy*. Abaixo segue os valores

$$V(S_1 \geq S_2) = 1 ; V(S_1 \geq S_3) = 0,001; V(S_1 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_2 \geq S_1) = 0,073; V(S_2 \geq S_3) = 0,001; V(S_2 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_3 \geq S_1) = 1 ; V(S_3 \geq S_2) = 1; V(S_3 \geq S_4) = 1$$

$$V(S_4 \geq S_2) = 0,001; V(S_4 \geq S_3) = 0,001; V(S_4 \geq S_2) = 0,001$$

Cada conjunto de valores de S_i , possui um valor mínimo da comparação do seu grau de possibilidade em relação aos demais, esses valores mínimos correspondem aos pesos do critério de um número real não normalizado, representado por $d'(A_i)$ com aplicação da Equação 2.7. Esses valores estão demonstrados abaixo:

$$d(\text{Func.}) = V(S_1 \geq S_2, S_3, S_4) = \min(1, 0, 001, 1) = 0,001$$

$$d(\text{Usab.}) = V(S_2 \geq S_1, S_3, S_4) = \min(0,073, 0,001, 1) = 0,001$$

$$d(\text{Conf.}) = V(S_3 \geq S_1, S_2, S_4) = \min(1, 1, 1) = 1$$

$$d(\text{Comp.}) = V(S_4 \geq S_1, S_2, S_3) = \min(0,001, 0,001, 0,001) = 0,001$$

Com isso foi encontrado o vetor (W') dos peso não normalizados:

$$W' = (0.001, 0.001, 1, 0, 001)$$

Finalmente para o último passo, normaliza-se o vetor (W') para obtenção dos pesos finais dos indicadores. A soma do vetor (W') é 1,003. A seguir está o vetor normalizado:

$$W = \left(\frac{0,001}{1,003}, \frac{0,001}{1,003}, \frac{1}{1,003}, \frac{0,001}{1,003} \right) = (0,000997; 0,000997, 0,997; 0,00097)$$

Após esse processo para obter os pesos para os indicadores ocorre o processo tradicional com AHP, inclusive com a adaptação do atendimento da requisição do usuário para o MCEQLS. Então os valores dos pesos dos indicadores são multipli-

cados pelos valores dos pesos dos critérios conforme a requisição do usuário obtidos através da Equação 3.6 e conforme demonstrada na Tabelas B.1 e na B.2. Após isso são somados os valores da multiplicação dos demais critérios, para encontrar a pontuação, conforme apresentada na Tabela D.3 com a classificação da primeira requisição, Tabela D.4 com a segunda requisição e por a fim a Tabela D.5 com a terceira requisição.

Tabela D.1 – Avaliação dos Especialistas com números fuzzy triangulares

Critério	Esp	Func.	Usab.	Conf	Comp.
Func.	Esp. 1	(1,1,1)	(0,126; 0,143; 0,167)	(0,111; 0,111; 0,111)	(4,5,6)
	Esp. 2	(1,1,1)	(7,8,9)	(0,111; 0,111; 0,111)	(7,8,9)
	Esp. 3	(1,1,1)	(7,8,9)	(0,111; 0,111; 0,111)	(7,8,9)
	Esp. 4	(1,1,1)	(9,9,9)	(0,111; 0,111; 0,111)	(6,7,8)
Usab.	Esp. 1	(6,7,8)	(1,1,1)	(0,111; 0,111; 0,111)	(6,7,8)
	Esp. 2	(0,111; 0,125; 0,142)	(1,1,1)	(0,111; 0,111; 0,111)	(7,8,9)
	Esp. 3	(0,111; 0,125; 0,142)	(1,1,1)	(0,111; 0,111; 0,111)	(7,8,9)
	Esp. 4	(0,111; 0,111; 0,111)	(1,1,1)	(9,9,9)	(0,111; 0,125; 0,142)
Conf.	Esp. 1	(9,9,9)	(9,9,9)	(1,1,1)	(9,9,9)
	Esp. 2	(9,9,9)	(9,9,9)	(1,1,1)	(9,9,9)
	Esp. 3	(9,9,9)	(9,9,9)	(1,1,1)	(9,9,9)
	Esp. 4	(9,9,9)	(0,111; 0,111; 0,111)	(1,1,1)	(0,111; 0,125; 0,142)
Comp.	Esp. 1	(0,167; 0,2; 0,25)	(0,126; 0,143; 0,167)	(0,111; 0,111; 0,111)	(1,1,1)
	Esp. 2	(0,111; 0,125; 0,142)	(0,111; 0,125; 0,142)	(0,111; 0,111; 0,111)	(1,1,1)
	Esp. 3	(0,111; 0,125; 0,142)	(0,111; 0,125; 0,142)	(0,111; 0,111; 0,111)	(1,1,1)
	Esp. 4	(0,126; 0,143; 0,167)	(7,8,9)	(7,8,9)	(1,1,1)

Fonte: Autoria própria

Tabela D.2 – Média da matriz entre especialista

Critério	Func.	Usab.	Conf.	Comp.
Func.	(1,1,1)	(5,782; 6,286; 6,792)	(0,111;0,111;0,111)	(6;7;8)
Usab.	(1,583; 1,840; 2,098)	(1,1,1)	(2.333;2,333;2,333)	(5,027;5,782;6,5355)
Conf.	(9;9;9)	(6,778;6,778; 6,778)	(1,1,1)	(6,778; 6,782; 6,786)
Comp.	(0,129; 0,149; 0,176)	(1,837; 2,099; 2,363)	(1,834; 2,084; 2,334)	(1,1,1)

Fonte: Autoria própria

Tabela D.3 – Dados para a primeira Requisição e pontuação com Método da literatura

ROAs	Re	Fo	Cl	Me	Pontuação
	0,000997	0,000997	0,000997	0,9997	
ROA1	0,082638	0,164647	0,021107	0,081111	0,081354
ROA2	0,082638	0,140331	0,000000	0,081111	0,081309
ROA3	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA4	0,076545	0,164647	0,021107	0,092222	0,092456
ROA5	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA6	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA7	0,082638	0,164647	0,021107	0,092222	0,092462
ROA8	0,082638	0,164647	0,021107	0,092222	0,092462
ROA9	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA10	0,082638	0,164647	0,099156	0,081111	0,081432
ROA11	0,082638	0,164647	0,021107	0,092222	0,092462
ROA12	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,081443
ROA13	0,082638	0,164647	0,000000	0,081111	0,081333
ROA14	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA15	0,082638	0,140331	0,021107	0,081111	0,081330
ROA16	0,076545	0,140331	0,109967	0,081111	0,081413
ROA17	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA18	0,014442	0,164647	0,021107	0,081111	0,081286
ROA19	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA20	0,082638	0,164647	0,099156	0,092222	0,092540
ROA21	0,082638	0,164647	0,021107	0,081111	0,081354
ROA22	0,082638	0,164647	0,021107	0,000000	0,000268
ROA23	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,081443
ROA24	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,081443
ROA25	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA26	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA27	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,081443
ROA28	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA29	0,076545	0,164647	0,109967	0,092222	0,092545
ROA30	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA31	0,082638	0,140331	0,109967	0,081111	0,081419
ROA32	0,076545	0,164647	0,109967	0,081111	0,081437
ROA33	0,082638	0,164647	0,099156	0,092222	0,092540
ROA34	0,082638	0,164647	0,021107	0,092222	0,092462
ROA35	0,082638	0,140331	0,021107	0,092222	0,092438
ROA36	0,082638	0,164647	0,109967	0,081111	0,081443
ROA37	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA38	0,082638	0,036435	0,109967	0,081111	0,081315
ROA39	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551
ROA40	0,082638	0,164647	0,109967	0,092222	0,092551

Fonte: Autoria própria

Tabela D.4 – Dados para a segunda Requisição e pontuação com método da literatura

ROAs	Re	Fo	Cl	Co	Me	Pontuação
	0,000997	0,000997	0,000997	0,000997	0,9997	
ROA1	0,082638	0,164647	0,021107	0,321429	0,081111	0,081675
ROA2	0,082638	0,140331	0,000000	0,000000	0,081111	0,081309
ROA3	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,092871
ROA4	0,076545	0,164647	0,021107	0,321429	0,092222	0,092777
ROA5	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,092871
ROA6	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,092871
ROA7	0,082638	0,164647	0,021107	0,321429	0,092222	0,092783
ROA8	0,082638	0,164647	0,021107	0,321429	0,092222	0,092783
ROA9	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,092222	0,092586
ROA10	0,082638	0,164647	0,099156	0,035714	0,081111	0,081468
ROA11	0,082638	0,164647	0,021107	0,321429	0,092222	0,092783
ROA12	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,081479
ROA13	0,082638	0,164647	0,000000	0,035714	0,081111	0,081369
ROA14	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,092871
ROA15	0,082638	0,140331	0,021107	0,000000	0,081111	0,081330
ROA16	0,076545	0,140331	0,109967	0,321429	0,081111	0,081733
ROA17	0,082638	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,092551
ROA18	0,014442	0,164647	0,021107	0,000000	0,081111	0,081286
ROA19	0,082638	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,092551
ROA20	0,082638	0,164647	0,099156	0,000000	0,092222	0,092540
ROA21	0,082638	0,164647	0,021107	0,000000	0,081111	0,081354
ROA22	0,082638	0,164647	0,021107	0,000000	0,000000	0,000268
ROA23	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,081479
ROA24	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,081479
ROA25	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,092871
ROA26	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,092222	0,092586
ROA27	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,081111	0,081763
ROA28	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,092871
ROA29	0,076545	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,092545
ROA30	0,082638	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,092551
ROA31	0,082638	0,140331	0,109967	0,035714	0,081111	0,081454
ROA32	0,076545	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,081472
ROA33	0,082638	0,164647	0,099156	0,035714	0,092222	0,092576
ROA34	0,082638	0,164647	0,021107	0,035714	0,092222	0,092498
ROA35	0,082638	0,140331	0,021107	0,035714	0,092222	0,092474
ROA36	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,081111	0,081479
ROA37	0,082638	0,164647	0,109967	0,000000	0,092222	0,092551
ROA38	0,082638	0,036435	0,109967	0,321429	0,081111	0,081636
ROA39	0,082638	0,164647	0,109967	0,035714	0,092222	0,092586
ROA40	0,082638	0,164647	0,109967	0,321429	0,092222	0,092871

Fonte: Autoria própria

Tabela D.5 – Dados para a Terceira requisição e pontuação com método da literatura

ROAs	Re	Fo	Cl	Ar	Cp	Na	Int	Ac	Me	Pontuação
ROA1	0,000997	0,000997	0,000997	0,000997	0,000997	0,000997	0,000997	0,000997	0,9997	0,009083
ROA2	0,086240	0,137986	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,162599	0,080505	0,006073
ROA3	0,074629	0,137986	0,000000	0,214286	0,000000	0,077335	0,134597	0,197686	0,053838	0,010748
ROA4	0,074629	0,137986	0,098292	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,000000	0,095657	0,010752
ROA5	0,074629	0,137986	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,046656	0,095657	0,010756
ROA6	0,074629	0,167290	0,098292	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,162599	0,080505	0,009084
ROA7	0,086240	0,167290	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,162599	0,080505	0,009084
ROA8	0,074629	0,167290	0,039041	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,010756
ROA9	0,086240	0,167290	0,098292	0,000000	0,035714	0,077335	0,184287	0,000000	0,095657	0,010751
ROA10	0,074629	0,167290	0,097578	0,261905	0,035714	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,010750
ROA11	0,074629	0,167290	0,039041	0,214286	0,321429	0,070009	0,134597	0,046656	0,095657	0,010697
ROA12	0,074629	0,167290	0,112085	0,261905	0,035714	0,077335	0,134597	0,046656	0,080505	0,009042
ROA13	0,074629	0,137986	0,000000	0,214286	0,035714	0,070009	0,093039	0,000000	0,080505	0,009051
ROA14	0,074629	0,137986	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,162599	0,080505	0,009062
ROA15	0,074629	0,137986	0,039041	0,214286	0,000000	0,070009	0,134597	0,000000	0,080505	0,009016
ROA16	0,074629	0,137986	0,112085	0,000000	0,321429	0,077335	0,134597	0,046656	0,080505	0,009072
ROA17	0,074629	0,167290	0,098292	0,261905	0,000000	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,010721
ROA18	0,046400	0,137986	0,039041	0,214286	0,000000	0,070009	0,093039	0,046656	0,080505	0,009014
ROA19	0,074629	0,137986	0,098292	0,214286	0,000000	0,077335	0,134597	0,197686	0,080505	0,009046
ROA20	0,074629	0,167290	0,097578	0,214286	0,000000	0,031269	0,134597	0,000000	0,080505	0,009022
ROA21	0,074629	0,137986	0,039041	0,214286	0,000000	0,070009	0,093039	0,000000	0,080505	0,009012
ROA22	0,086240	0,167290	0,039041	0,000000	0,000000	0,070009	0,134597	0,000000	0,000000	0,000055

Continuação Tabela D.5

ROAs	Re	Fo	Cl	Ar	Cp	Na	Int	AC	Me	Pontuação
	0,09091	0,09091	0,23072	0,23072	0,23072	0,15003	0,15003	0,15003	0,52831	
ROA23	0,086240	0,167290	0,112085	0,261905	0,035714	0,070009	0,134597	0,000000	0,080505	0,009038
ROA24	0,074629	0,137986	0,098292	0,261905	0,035714	0,070009	0,184287	0,046656	0,080505	0,009043
ROA25	0,086240	0,167290	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,197686	0,095657	0,010781
ROA26	0,074629	0,137986	0,098292	0,261905	0,035714	0,070009	0,134597	0,197686	0,095657	0,010737
ROA27	0,074629	0,167290	0,112085	0,261905	0,321429	0,070009	0,134597	0,162599	0,080505	0,009082
ROA28	0,086240	0,137986	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,184287	0,162599	0,095657	0,010774
ROA29	0,074629	0,167290	0,098292	0,214286	0,000000	0,070009	0,134597	0,046656	0,095657	0,010715
ROA30	0,086240	0,167290	0,112085	0,261905	0,000000	0,077335	0,093039	0,046656	0,080505	0,009036
ROA31	0,086240	0,137986	0,112085	0,261905	0,035714	0,070009	0,184287	0,197686	0,080505	0,009063
ROA32	0,074629	0,167290	0,098292	0,214286	0,035714	0,070009	0,134597	0,162599	0,080505	0,009048
ROA33	0,074629	0,167290	0,097578	0,261905	0,035714	0,070009	0,184287	0,046656	0,095657	0,010729
ROA34	0,074629	0,167290	0,039041	0,261905	0,035714	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,010718
ROA35	0,074629	0,137986	0,039041	0,261905	0,035714	0,077335	0,134597	0,046656	0,095657	0,010715
ROA36	0,086240	0,167290	0,112085	0,261905	0,035714	0,070009	0,134597	0,000000	0,080505	0,009038
ROA37	0,086240	0,167290	0,112085	0,214286	0,000000	0,077335	0,184287	0,046656	0,095657	0,010724
ROA38	0,074629	0,054869	0,112085	0,261905	0,321429	0,070009	0,134597	0,000000	0,080505	0,009056
ROA39	0,074629	0,167290	0,112085	0,261905	0,035714	0,031269	0,134597	0,000000	0,095657	0,010716
ROA40	0,074629	0,167290	0,112085	0,261905	0,321429	0,077335	0,134597	0,162599	0,080505	0,009088

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE E – ROAS CANDIDATOS

A Tabela E.1 apresenta todos os ROAs reais candidatos para avaliação.

Tabela E.1 – Tabela com os ROAs candidatos

Nº	ROAs	Links
ROA 1	Plataforma integrada mec	https://plataformaintegrada.mec.gov.br/home
ROA 2	ROA Univates	https://www.univates.br/roau
ROA 3	Currículo mais	http://curriculomais.educacao.sp.gov.br/
ROA 4	LUME	https://lume.ufrgs.br/
ROA 5	Portal do Professor	http://portaldoprofessor.mec.gov.br
ROA 6	BNDigital	http://bndigital.bn.gov.br/
ROA 7	SaberCom	http://www.sabercom.furg.br/
ROA 8	CESTA	http://www.cinted.ufrgs.br/CESTA/
ROA 9	Escola Digital	https://rede.escoladigital.org.br/
ROA 10	Domínio Público	http://www.dominiopublico.gov.br
ROA 11	Conteúdo digitais	http://www.cdme.im-uff.mat.br
ROA 12	CENPEC Educação	https://www.cenpec.org.br
ROA 13	Educopédia	https://www.educopedia.com.br/Index.aspx
ROA 14	Biblioteca digital de ciências	https://www2.ib.unicamp.br/lte/bdc/index.php
ROA 15	Repositório de Matemática	http://www.mais.mat.br/wiki/
ROA 16	PhET - Simulações intera.	https://phet.colorado.edu/pt/
ROA 17	SENAI	https://rd.sc.senai.br/
ROA 18	Soft Ciências	http://nautilus.fis.uc.pt/mn/
ROA 19	TV escola	https://tvescola.mec.gov.br/
ROA 20	NUTED	https://www.nuted.ufrgs.br/
ROA 21	RIVED	https://rived.mec.gov.br/
ROA 22	MOCHO	http://www.mocho.pt/
ROA 23	MIT	https://ocw.mit.edu/index.htm
ROA 24	Wisc Online	https://www.wisc-online.com/
ROA 25	OER Commons	https://www.oercommons.org/oer
ROA 26	Conexions	https://cnx.org/
ROA 27	khan academy	https://pt.khanacademy.org
ROA 28	MERLOT	https://www.merlot.org/merlot/
ROA 29	Open Educational Resources	https://oer.avu.org/
ROA 30	Europeana collections	https://www.europeana.eu
ROA 31	Open Learn	https://www.open.edu/openlearn/
ROA 32	fundacaotelefonica	http://fundacaotelefonica.org.br/acervo/
ROA 33	Repositório Comum	https://comum.rcaap.pt/
ROA 34	Repositório A. Pública	https://repap.ina.pt/
ROA 35	Repositório científico do LNEG	https://repositorio.lneg.pt/
ROA 36	Science Netlinks	https://sciencenetlinks.com/lessons/
ROA 37	Learning Resource	http://lreforschools.eun.org)
ROA 38	Educarchile	http://www.educarchile.cl
ROA 39	CAREOCareo	http://contacts.ucalgary.ca/
ROA 40	Bancos de itens	https://bi.gave.min-edu.pt/bi/

Fonte: Autoria própria

APÊNDICE F – FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA OS ESPECIALISTAS

Figura 11 – Sobre o trabalho e o termo de consentimento

Avaliação de Critérios para Análise de Repositórios de Objetos de Aprendizagem - Explicação

Prezado(a) participante,

Este formulário faz parte de uma dissertação de mestrado que está criando uma arquitetura de tomada de decisão para seleção de Repositórios de Objetos de Aprendizagem (ROA). Para isso foram escolhidos quatro critérios para auxílio na tomada de decisão a respeito da seleção dos ROAs. Esses critérios são subjetivos e precisam ser validados quanto a sua importância por um avaliador que possua um perfil específico.

Dessa forma está sendo enviado um formulário para que você possa avaliar os critérios, comparando a importância de cada um sempre em relação ao outro critério. Nessa análise será necessário classificar numericamente, em uma escala de 1 (pouco importante) á 9 (extrema importância), os critérios.

Muito obrigado por sua participação!

Rosymeire Oliveira da Silva (mestranda, PPGCA - UDESC)
Adriano Fiorese (orientador, PPGCA - UDESC)
Contato: rosymeireoliveira26@gmail.com

*Obrigatório

Termo de Consentimento *

Aceito participar da pesquisa e entendo que todos meus dados individuais serão sigilosos. Apenas os pesquisadores deste projeto terão acesso aos dados brutos. Solicitamos a sua autorização para o uso de seus dados para a produção de textos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida.

Aceito participar desta pesquisa

[Próxima](#)

Página 1 de 6

Figura 12 – Perfil do participante

Informe em quais dos perfis abaixo, você se insere.

Esta pergunta é para saber qual o perfil de especialista que está participando desta pesquisa, pode escolher mais de uma opção. *

Aluno
 Professor
 Desenvolvedor
 Tutor
 Outro: _____

Qual sua faixa etária? *

16-25
 26-30
 31-35
 36-45
 Acima de 46

Você utiliza Repositórios educacionais ? *

Sim
 Não

Figura 13 – Perfil do participante

Você utiliza Repositórios educacionais ? *

Sim
 Não

Há quanto tempo você utiliza?

Sua resposta

Quais Repositórios você utiliza?

Sua resposta

[Voltar](#) [Próxima](#)

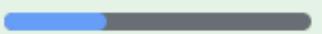
 Página 2 de 6

Figura 14 – Explicação dos critérios

Avaliação de Critérios para Análise de Repositórios de Objetos de Aprendizagem - Explicação

Critérios para Avaliação de Repositórios de Objetos de Aprendizagem - Explicação

Este formulário tem como objetivo solicitar a avaliação de determinados critérios, por parte dos envolvidos com informática na educação, especificamente que tenham conhecimento ou utilizem Repositórios com recursos educacionais digitais. Com os resultados da avaliação, será possível encontrar pesos para cada critérios, que serão utilizados em uma arquitetura com vários ROAs, pontuando-os e classificando-os de acordo com a requisições do usuário.

Os critérios foram baseados em características da norma ISO 25010, porém foram adaptados ao contexto do presente trabalho.

A **Functionalidade** é um critério composto pela quantidade de formas nas quais o usuário pode armazenar seus recursos educacionais, sejam OAs, links para sites externos, metadados, quantidade de mecanismos de busca que o ROA disponibiliza, visualização do OA e downloads.

A **Usabilidade** é um critério indispensável para avaliar quanto bem pode ser utilizado o software, avaliando sua interface gráfica, navegabilidade e acessibilidade.

A **Confiabilidade** é importante para qualificar a utilização do recurso principal dos ROAs, no caso os objetos de aprendizagem, por conter ou não todas as informações sobre o OA como: ano, direito autorais, ficha técnica e pedagógica e etc .

A **Compatibilidade** refere-se a quantidade de tipo de recursos e formatos de objetos de aprendizagem que o ROA disponibiliza.

Figura 15 – Questionário

Figura 16 – Questionário

Figura 17 – Questionário

Figura 18 – Questionário

Qual dos dois critérios quando comparados entre si, é mais importante que o outro?

Confiabilidade
 Compatibilidade

Classifique essa importância de 1 a 9 *

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Valor

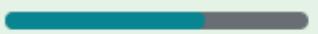
[Voltar](#) [Próxima](#)  Página 4 de 6

Figura 19 – Mais informações

Avaliação de Critérios para Análise de Repositórios de Objetos de Aprendizagem - Explicação

Critérios para Repositório de Objeto de Aprendizagem

Quais as suas dúvidas, sugestões ou comentários para o trabalho?

Sua resposta

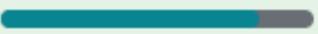
[Voltar](#) [Próxima](#)  Página 5 de 6

Figura 20 – Agradecimentos

