

Infraestrutura de tecnologia da informação (TI) para repositórios de objetos de aprendizagem (ROA) com aplicação da teoria da utilidade multiatributo (MAUT)

Using multi-attribute utility theory to select an information technology (IT) infrastructure for learning object repositories (LOR)

Prof. Dr. Guilherme Bizarro Salve (IFTO – Brasil) - guibs@ifto.edu.br
Quadra AE 310 Sul Avenida LO 05, Sem número, Palmas, Tocantins, fone: (63) 3236-4062.
Profa. Dra. Vanessa Ribeiro Campos (UFC - Brasil) - vanessa.campos@ufc.br
Prof. Dr. Edson Walmir Cazarini (EESC/USP – Brasil) - cazarini@sc.usp.br

RESUMO O presente artigo tem como objetivo estruturar o problema de decisão de seleção entre os tipos de arquitetura de ROA pela aplicação da teoria da utilidade multiatributo. A escolha de infraestrutura de TI mais adequada para o ROA é decisão complexa, pois envolve atributos conflitantes e deve atender todos os requisitos necessários. Em situações de incertezas, a Teoria de Utilidade Multiatributo (MAUT) auxilia o tomador de decisão na seleção da melhor alternativa de acordo com critérios estabelecidos pelo decisor. O estudo demonstrou que a opção de ROA distribuído e indexação distribuída (A4) é menos sensível a mudanças e possui maior utilidade. De acordo com a análise, A4 é a opção mais indicada para implantação de infraestrutura de TI para a organização de ensino em questão. O estudo contribui para que pesquisadores e gestores profissionais possam avaliar os tipos de arquitetura de ROA e replicar o modelo de decisão para encontrar resultados análogos.

Palavras-chave Educação à Distância. Tecnologia da Informação. Repositórios de Objetos de Aprendizagem. Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT).

ABSTRACT *The purpose of this article is to apply the methodology to structure the decision problem and select an appropriate LOR architecture. This reflected in the need to invest and improve the technology for educational organizations. Selecting an appropriate infrastructure for LOR is usually a complex decision, because it has conflicting attributes. In situations of uncertainty, multi-attribute utility theory (MAUT) assists in selecting the best alternative according to criteria established by the decision maker. Results demonstrated that the choice of indexing and distributing LOR (A4) is less sensitive to changes and has greater utility. According to the analysis, A4 is the option most suitable for deploying IT infrastructure in the case of application. Researchers and professional managers can assess the types of ROA architecture and replicate this decision model to find similar results.*

Keywords *Distance Education. Information Technology. Learning Objects Repositories. Multi-attribute Utility Theory (MAUT).*

1. INTRODUÇÃO

Durante a realização do planejamento do Repositório de Objetos de Aprendizagem (ROA) e em busca do aumento da produtividade e diminuição dos custos, os gestores se deparam com decisões. Uma delas é o estabelecimento de uma infraestrutura de TI que possibilite o desempenho requerido pelos usuários, que tenha confiabilidade e capacidade suficiente e ainda que seja alcançado um custo benefício adequado, tendo em vista as preferências estabelecidas.

Ao longo dessa pesquisa identifica-se uma lacuna que dificulta a tomada de decisão de gestores responsáveis pelo planejamento e implantação do ROA em organizações educacionais. Essa deficiência refere-se à inexistência da estruturação do problema, bem como um método que demonstre como se chegar à infraestrutura de TI compatível com os requisitos organizacionais.

A Teoria de Utilidade Multiatributo (MAUT) torna o processo de tomada de decisão mais transparente por meio de sua estrutura axiomática e de sua seqüência de etapas que auxiliam na identificação das alternativas e critérios relevantes para solução do problema. Huang *et al.* (2013) apontam que entre as diferentes técnicas de apoio à decisão multicritério, MAUT é bem significativa devido à sua estrutura teórica compreensível em que os tomadores de decisão são capazes de expressar suas preferências entre as alternativas de acordo com os atributos pela construção de funções utilidades correspondentes para tomar decisões eficazes.

O ROA tem se apresentado como uma solução para utilização na EAD que é efetiva e possibilita retorno nos investimentos nesse tipo de projeto. A tecnologia se mostra promissora, porém ainda demanda de estudos para que se demonstre efetivamente como alternativa para a oferta de ambientes educacionais de qualidade. Nesse sentido, verificou-se uma lacuna no estado da arte que demonstrasse a estruturação da decisão quanto a infraestrutura de TI para utilização em ROA, o que motivou a realização da pesquisa.

Nesse contexto, o objetivo do presente artigo é estruturar a tomada de decisão para a seleção de infraestrutura de TI para ROA em organizações educacionais, de maneira a contribuir para o planejamento e conseqüente implantação de iniciativas dessa natureza.

A pesquisa abordada possui enfoque qualitativo e tem como escopo apoiar e estruturar o processo de decisão em que são definidos: os elementos (alternativas potenciais, critérios, problemática); aplicação do método multicritério de utilidade multiatributo, avaliação de resultados e análise de sensibilidade. As diretrizes estabelecidas pelo modelo proposto auxiliam a decisão por meio de uma seqüência de conceitos, etapas e aplicação da metodologia multicritério.

A aplicação do MAUT para estruturação da decisão possibilitou identificar os critérios e os pesos da situação estudada. A pesquisa mostra o processo de escolha de infraestrutura de TI de Repositórios de Objetos de Aprendizagem com aplicação em um cenário organizacional que possui a finalidade de implantar a oferta de cursos na modalidade a distância. Conseguiu-se constituir uma estrutura de decisão que contribui para que especialistas da área possam se embasar para a consecução de projetos dessa área.

O trabalho compõe-se dos seguintes elementos: a revisão de literatura que fundamenta o estudo; aplicação do MAUT que apresenta a estruturação do problema pela definição das alternativas, dos critérios e suas ponderações para a sua solução; por último, são apresentados os resultados obtidos com discussões relevantes e a conclusão do estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Essa seção apresenta os fundamentos conceituais dessa pesquisa.

2.1. Repositórios de Objetos de Aprendizagem (ROA)

Os Objetos de Aprendizagem (OAs) se apresentam como solução para organizações educacionais que buscam qualidade e economia na produção de materiais instrucionais. De acordo com a literatura especializada, é imperativo infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) otimizada para possibilitar que o seu ciclo seja realizado de maneira efetiva (UNESCO, 2009; D.P.E., 2008; BARRITT; ALDERMAN, 2004; STRIJKER; COLLIS, 2007; C.D.E., 2013; KHANNA; BASAK, 2013).

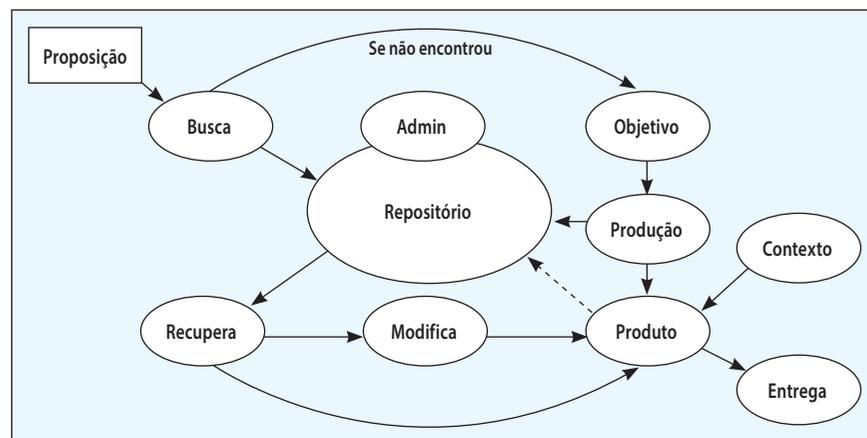
Os OAs são utilizados por diversas organizações em todo o mundo. Segundo Naidu (2006), o interesse quanto a eles está diretamente relacionado ao crescimento da educação a distância. A iniciativa de utilização de recursos instrucionais digitais pode trazer diversos benefícios, dentre eles: melhorar o sucesso dos estudantes; prover acesso a recursos de alta qualidade; reduzir custos de acesso e controle; responder a demanda dos estudantes por qualidade e acesso; e prover treinamento e suporte de alta qualidade (SREB-SCORE, 2009).

De acordo com Perera e Karunasena (2008), os procedimentos de TI são tão importantes quanto o uso da tecnologia. Os procedimentos referem-se a dois aspectos: a seleção da tecnologia de informação mais adequada, assim como a escolha do método para sua seleção. As aplicações ineficientes dos procedimentos de TI podem criar barreiras para se obter retorno para investimento realizado.

Na visão de Lopes e Costa (2007) a tecnologia da informação não pode ser avaliada apenas por ganhos financeiros, devem ser consideradas também as contribuições que ela traz aos vários aspectos do negócio, o que caracteriza o problema de investimentos em TI/SI como um problema de decisão multicritério.

Um dos tópicos imprescindíveis nas decisões quanto à infraestrutura de TI é a definição do ciclo do ROA (BARRITT; ALDERMAN, 2004; UNESCO, 2009). A Figura 1 demonstra que o principal elemento no ciclo do OA são os ROAs (ANTA, 2003), que possibilitam a busca, recuperação, entrega, disponibilização e apóiam a produção e compartilhamento. Nesse sentido, está fundamentado na literatura disponível que o melhor uso dos OAs é realizado por meio do seu armazenamento em algum tipo de base de dados ou repositório (ANTA, 2003) como indicado na Figura 1 seguinte.

Figura 1 – Ciclo de vida de OA.



Fonte: ANTA (2003).

No processo de planejamento para implantação do ROA é indispensável que se defina qual infraestrutura de TI é necessária para a consecução do ciclo do OA. Segundo Barrit e Alderman (2004), essas decisões estão subordinadas às formas como estes últimos são produzidos e entregues, se autores externos podem acessar o sistema e as expectativas de desempenho dos usuários. Nesse sentido, a definição de quantos servidores são necessários e sua configuração importam, bem como a sua localização para que atendam as necessidades dos usuários quanto ao uptime e requisitos de desempenho, por exemplo.

As necessidades dos usuários do ROA estão diretamente relacionadas as suas expectativas quanto a performance do sistema. Nesse caso é importante estabelecer quem são essas pessoas, onde estão localizadas e como será realizado o acesso. Também é necessário verificar as expectativas desses quanto ao desempenho, que pode ser por meio de entrevistas, consulta a especialistas e observação no local.

De acordo com Oliver, Philippe e Broisin (2008), os ROAs podem estocar o OA e metadados juntos ou separadamente. Silveira, Omar e Mustaro (2007) realizaram um estudo e identificaram que os repositórios podem apresentar quatro configurações diferentes, que se conformam como centralizadas ou distribuídas. Essas dependem da centralização/descentralização dos OAs e da indexação/metadados. Nesse sentido, Neven e Duval (2002) afirmam que os ROAs baseados em cliente-servidor estão classificados em dois grandes grupos: ROAs centralizados que possuem um único servidor para os OAs e metadados e aqueles que possuem mais de um para armazenamento.

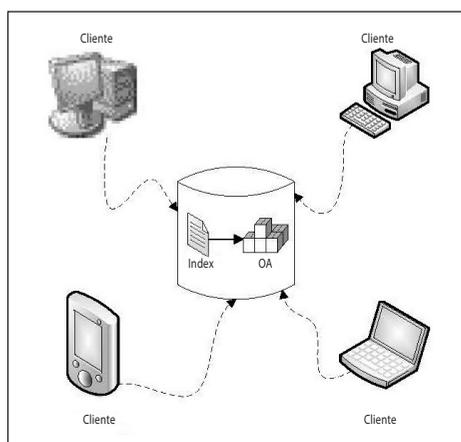
2.1.1. Identificação dos tipos de ROA

Existem quatro opções de ROA segundo Silveira, Omar e Mustaro (2007), cuja descrição e principais características são mostradas a seguir.

a) OA e indexação/metadados centralizados

Nesse formato tanto os OAs como os metadados são centralizados em um servidor, que são acessados por todos os usuários. Nesse caso é importante uma infraestrutura robusta para armazenar os OAs, os metadados e também os componentes de lógica de negócios. O primeiro tipo é ilustrado na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – OA centralizado e indexação/metadados centralizado.

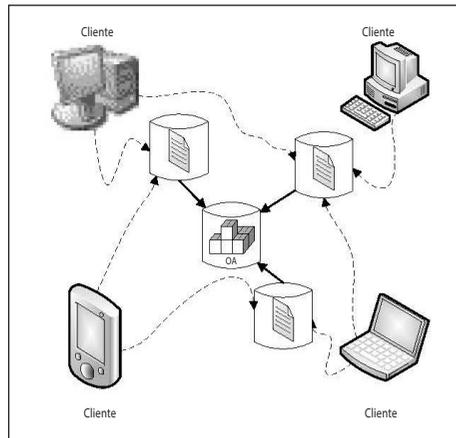


Fonte: Silveira, Omar e Mustaro (2007).

b) OA centralizado e indexação/metadados descentralizados

Nessa configuração os OAs ficam centralizados enquanto a indexação e os metadados são descentralizados. Quando existe um excessivo custo de processamento em servidores centralizados, separá-los é uma solução. O segundo tipo é ilustrado na Figura 3 a seguir.

Figura 3 – OA centralizado e Indexação/Metadados descentralizados.



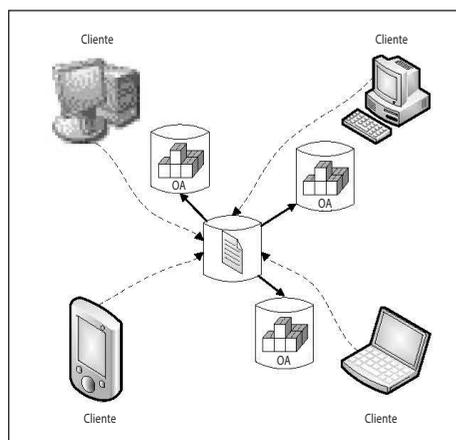
Fonte: Silveira, Omar e Mustaro (2007).

São aplicados diferentes padrões de metadados aos OAs. É necessário utilizar uma boa infraestrutura para estocá-los, porém isso quase sempre pode não ocorrer para os metadados.

c) OA distribuído e indexação/metadados descentralizados

Essa arquitetura apresenta uma única estrutura de TI para os metadados que faz o papel de indexador e diversos repositórios de OA relacionados a ela, e está indicado na Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Repositório de OA centralizado e Indexação/Metadados descentralizados.



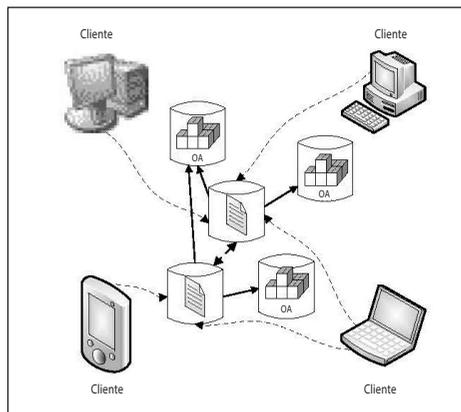
Fonte: Silveira, Omar e Mustaro (2007).

A solução pode ser utilizada quando existe a necessidade de um conjunto de servidores para OA e a indexação pode ser centralizada. Neste caso, podem existir algumas desvantagens, como por exemplo, se o servidor de indexação falhar ocorrerá pane no sistema, pois não existem alternativas para o funcionamento. Como existe a centralização em um único repositório de metadados, podem ocorrer sobrecargas e possível lentidão.

d) OA distribuído e indexação distribuída

Nessa arquitetura existem repositórios de OA se relacionando com outros de metadados, como ilustrado na Figura 5 seguinte.

Figura 5 – OA e Indexação distribuído(a)s.



Fonte: Silveira, Omar e Mustaro (2007).

Essa alternativa é confiável e robusta e também apresenta o maior desempenho, mas, por outro lado, necessita de maior investimento.

2.2. Apoio à decisão multicritério

Apoio à decisão multicritério requer que uma série de etapas sejam seguidas para auxiliar no entendimento e estruturação do problema. De acordo com Bana e Costa (1988) duas fases do processo de apoio à decisão são identificadas na metodologia multicritério:

- Uma fase de análise do sistema que diz respeito à identificação dos principais atores intervenientes, explicitação das alternativas de decisão que podem ser comparadas entre si por critérios de avaliação. Esta fase pode ser denominada formulação do problema e identificação do escopo do processo de avaliação.
- A outra fase de síntese possui a finalidade de avaliar o sistema e utiliza métodos multicritério para apoiar a modelagem de preferência dos atores e sua agregação.

Os métodos de apoio à decisão multicritério são ferramentas que se destacam na estruturação de decisões e apresentam as seguintes características: pelo menos dois critérios conflitantes; os critérios e alternativas não estão bem definidos assim como as conseqüências na decisão sobre as alternativas. O apoio à decisão multicritério agrega, de maneira ampla, todas as características consideradas importantes, mesmo aquelas que não são quantitativas, possibilitando maior transparência e sistematização do processo de tomada de decisão (GOMES; ARAYA; CARIGANO, 2004).

Neste contexto, o presente artigo mostra uma seqüência de etapas que abrangem fases da metodologia multicritério que estão descritas no estudo e estruturação do problema.

2.2.1. Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT)

A Teoria da Utilidade Multiatributo, também conhecida como MAUT (*Multiattribute Utility Theory*), foi primeiramente estudada por Keeney e Raiffa (1976) e consiste na aplicação de uma função utilidade que incorpora a preferência do decisor. O objetivo é medir a utilidade de cada alternativa sob múltiplos atributos ou critérios por meio de uma função que passou a ser denominada de função utilidade multiatributo. O MAUT é considerado como teoria, pois possui uma fundamentação sólida formulada por axiomas.

A função utilidade é obtida por meio de um protocolo organizado e fundamentado na estrutura axiomática da teoria da utilidade, com a inclusão da questão probabilística sobre a avaliação de escolha entre diferentes conseqüências. O emprego da função utilidade requer que os seguintes axiomas sejam seguidos:

- a é preferível a b, aPb;
- b é preferível a a, bPa;
- a é indiferente a b, aIb;
- se aPb e bPc, então aPc (transitividade de preferência);
- se aIb e bIc, então aIc (transitividade de preferência).

Na aplicação de MAUT é importante entender o conceito de função valor que objetiva auxiliar o decisor a explicitar suas preferências. A função v que associa um número real $v(x)$ para cada x no espaço de avaliação (GOMES *et al.*, 2004). No presente estudo utilizou-se a função de valor linear aditiva, que determina o desempenho das alternativas do problema de acordo com os critérios de avaliação. Define-se esta função como indicado na Equação (1) a seguir:

$$v(a) = \sum_{j=1}^n w_j v_j(a) \quad (1)$$

Sendo:

a = alternativa viável;

$v_j(a)$ = desempenho da alternativa a conforme o j -ésimo critério;

w_j = representa o coeficiente de ponderação ou peso do j -ésimo critério (com $w_j \geq 0$).

A utilização da função aditiva depende da validação da condição de independência dos atributos. Segundo Belton e Stewart (2002), a independência mútua dos atributos significa que o agente de decisão é capaz de expressar as preferências e compensações (*trade-offs*) entre os critérios de avaliação.

A aplicação-função da utilidade multiatributo consiste em um processo de entrevista entre o analista e o decisor com o objetivo de levantar as preferências do tomador de decisão em relação aos atributos do problema. As preferências são modeladas da forma mais real possível de modo que a função represente as atitudes do decisor em relação aos riscos e situações de incerteza (GOMES; GOMES, 2012).

Uma vez obtidos os resultados do problema pela aplicação da função utilidade é necessário realizar uma análise de sensibilidade, cuja finalidade é verificar se os resultados são consistentes ou identificar se o modelo é sensível a possíveis mudanças nas suas variáveis.

2.2.2. Aplicações da Teoria da Utilidade Multiatributo na TI

A integração entre o Apoio Multicritério à Decisão e a tecnologia da informação tem sido tratadas por autores como Yuan (2003), Kameshwaran *et al.* (2007), Butler *et al.* (2007) e Huang (2011). No Brasil podem-se destacar alguns estudos que aplicam a Teoria da Utilidade Multiatributo:

- Na área de comércio eletrônico Neiva (2006) faz uso do MAUT para auxiliar à tomada de decisão de escolha de *software e-procurement*.
- Menezes, Silva e Linhares (2007) propõem um modelo de decisão na administração para compra em leilões reversos, com a abordagem da Teoria da Utilidade Multiatributo. A pesquisa tinha como objetivo demonstrar a efetividade dessa abordagem de decisão como elemento de agregação de valor para as organizações compradoras do setor público brasileiro.
- Gomes *et al.* (2011) realizam a aplicação do MAUT à decisão na seleção de soluções de *Business Intelligence* para uma empresa multinacional do ramo de seguros e produtos financeiros. Os autores concluem que a metodologia garante maior objetividade, consistência, transparência e rastreabilidade do processo decisório.

3. MÉTODO DE PESQUISA

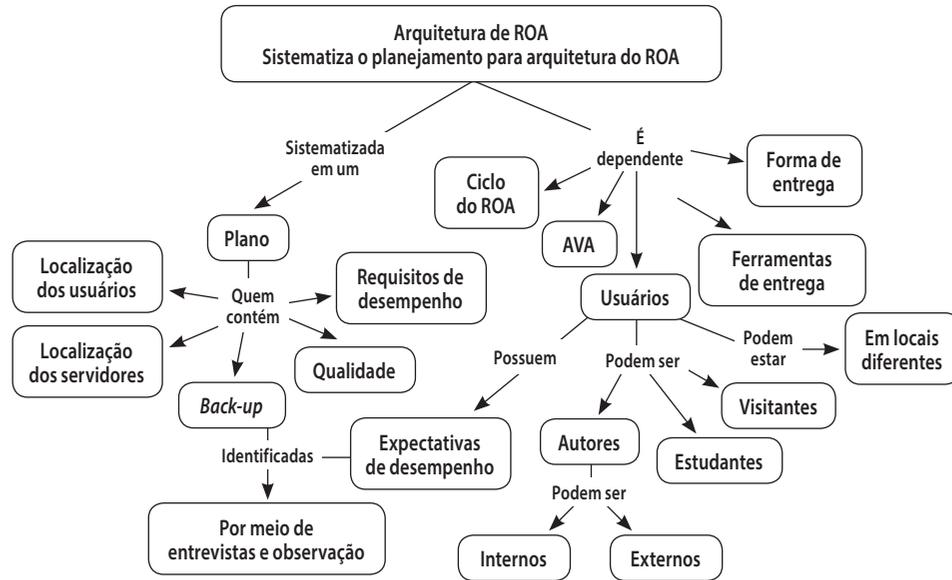
A metodologia de pesquisa envolve uma série de etapas que auxiliam a aplicação da função valor multiatributo para o estudo de caso. Tais etapas seguem uma sequência que estrutura a decisão de forma racional.

3.1. Caracterização do problema

A problemática de escolha de infraestrutura de TI é resultado da aplicação em um cenário organizacional que possui a finalidade de implantar a oferta de cursos na modalidade a distância. Para conhecer melhor o problema realizou-se uma pesquisa bibliográfica para identificar as variáveis que interferem na arquitetura do ROA, bem como os elementos necessários ao planejamento em questão. O resultado está representado no mapa conceitual indicado na Figura 6 a seguir. Este contribui para a elaboração, compartilhamento e crítica a modelos de conhecimento (CAÑAS; NOVAK, 2008).

Ali está sintetizado o conhecimento estabelecido pelos autores a respeito da infraestrutura de TI para ROA. Do lado esquerdo estão apresentados os elementos que constituem o plano mestre para guiar o desenvolvimento do planejamento e implantação. Do lado oposto estão identificadas as variáveis que influenciam e restringem a configuração da infraestrutura em questão.

Figura 6 – Mapa conceitual do plano para infraestrutura de TI do ROA.



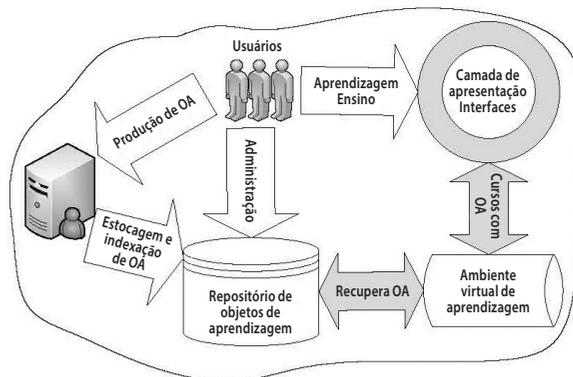
Fonte: Autor.

Após essa etapa, realizou-se o estudo de caso, que foi iniciado por meio da análise da documentação das iniciativas estudadas. Para isso foi utilizado o modelo conceitual elaborado na etapa anterior. Esse é elemento constituinte do protocolo de pesquisa, tal como recomenda Yin (2008). Após a análise e sistematização das informações contidas nos documentos, foram realizadas entrevistas com o gerente da iniciativa de forma a confirmar os dados por meio de sua triangulação. Como parte do resultado desse trabalho elaborou-se um guia, que serviu para o estabelecimento do cenário que contextualiza o problema a ser solucionado.

Com base na caracterização estabeleceu-se o cenário para uma organização educacional, que constitui os parâmetros para a identificação das variáveis relacionadas ao problema. Ocorre a oferta total de 2.000 vagas distribuídas em cinco cursos, sendo que o prazo para o seu preenchimento é de cinco anos. Isso significa dizer que nos quatro primeiros anos o sistema trabalha com alguma capacidade ociosa. Esse fato será considerado no planejamento e a implantação realizada por etapas, de acordo com as possibilidades.

A organização adota um Ambiente Virtual de Aprendizagem – AVA único, que nesse caso é o *Modular Object-Oriented Dynamic Learning* – MOODLE, que se integra com o ROA. Estão implantadas funcionalidades para a conexão entre os dois, de maneira que está formada uma comunidade virtual de aprendizagem em torno do sistema, tal como representa a Figura 7. Essa estrutura está proposta a partir de Prakash, Saini e Kutti (2009) e do estudo de caso realizado.

Figura 7 – Fluxo da oferta de EAD.



Fonte: Autor.

Os servidores estão localizados na sede da universidade e para fins de padronização cada um deles possui uma configuração disponível no mercado. A central de servidores conta com refrigeração durante todo o tempo de funcionamento, o que é um requisito para esse tipo de ambiente. Também estão disponibilizadas baterias para cada uma das máquinas.

Os *softwares* utilizados no sistema são livres, o que não acarretará mudanças nos custos das alternativas disponíveis. São os seguintes: o sistema operacional é o Debian GNU/LINUX, o banco de dados é o Mysql, e o gerenciador web é o Apache.

Os autores utilizam o ROA para acessar os OAs já existentes. Essas pessoas estão localizadas nos pólos educacionais sendo que a equipe principal está composta por professores que dominam a área em questão, por profissionais experientes no uso das ferramentas de produção e potencial da tecnologia e especialistas com competências sobre o processo de aprendizagem e princípios cognitivos (NASCIMENTO, 2007).

Autores que não são integrantes contratados da organização podem contribuir para o ROA desde que cumpram as normas existentes. Essas estão relacionadas a padrões e especificações técnicas e pedagógicas e aos direitos de autor. Para que o OA seja aceito e disponibilizado é realizado um processo de julgamento.

Os níveis de segurança exigidos garantem a existência de diversos perfis de usuários que proporcionam a integridade do sistema; relacionada aos direitos de autor, ao controle de versões e ao direito de utilização e modificação. Os estudantes estão distribuídos nos pólos educacionais existentes sendo que podem acessar o ROA por meio da Rede Mundial de Computadores. O acesso dos estudantes ao sistema será realizado por meio de autenticação no AVA.

3.2. Caracterização da pesquisa

Os métodos de pesquisa são classificados, quanto à forma de abordagem, em qualitativos e quantitativos. O enfoque qualitativo procura coletar dados sem a necessidade de medição numérica para descobrir ou aperfeiçoar as questões de pesquisa (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006).

Nesse enfoque, não se tem a intenção de generalizar os resultados nem fazer uso de amostra representativa, mas explorar e descrever o fenômeno por meio de processo indutivo. Para isso foi necessário entender o fenômeno; no caso, o processo de tomada de decisão no âmbito de tecnologia da informação.

Quanto à área da ciência, Demo (2000) define pesquisa metodológica aquela cujo seu objetivo é inquirir métodos e procedimentos que são adotados como científicos. Pela definição este estudo é metodológico, pois tem a intenção de sistematizar e tornar a decisão racional para seleção do tipo de ROA.

3.3. Método de coleta e análise de dados

A estruturação do problema multicritério apresenta diversas etapas que apresentadas em sequência. Essas etapas abrangem uma importância técnica para aplicação da metodologia e não são necessariamente sequenciais, porém interativas: identificação do agente de decisão; listagem das alternativas; definição dos critérios; avaliação das alternativas e critérios (ponderações); aplicação do método multicritério; análise dos resultados e análise de sensibilidade.

a) Identificação das alternativas

Foram consideradas as quatro opções de ROA para atender a demanda do cenário em estudo, como é mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Alternativas de ROA.

Alternativa	Tipo de ROA
A1	OA e indexação/metadados centralizados
A2	OA centralizado e indexação/metadados descentralizados
A3	OA distribuído e indexação/metadados descentralizados
A4	OA distribuído e indexação distribuída

Fonte: Autor.

b) Definição dos critérios relevantes

O estudo considerou para solução do problema os seguintes critérios de avaliação:

1) C1 – Capacidade de armazenamento

Consiste na capacidade em *Gigabytes* (GB) que cada alternativa possui de armazenamento de dados. Neste critério a maior utilidade é aquela que maximiza a capacidade de armazenamento.

2) C2 – Desempenho do repositório

Representa o desempenho do sistema em responder a solicitação do usuário no tempo esperado. Devido a dificuldade de mensuração deste atributo foi consultado um especialista que trabalha na Universidade de São Paulo, Campus São Carlos, que possui formação profissional formal e experiência no planejamento e implantação de projetos de TI para a área educacional e atribuiu para cada alternativa notas de 1 a 3. Essa consulta foi realizada por meio de uma entrevista com suporte de um formulário e roteiro elaborado previamente. Este atributo é crescente, assim a nota 3 indica a alternativa de maior preferência.

3) C3 – Custo de investimento

De acordo com a composição de infraestrutura de cada alternativa foi estimado um valor para o investimento em reais. Para isso foi realizada uma pesquisa mercadológica junto a fornecedores de equipamentos, sendo que as configurações foram padronizadas para facilitar o trabalho. O objetivo é minimizar este critério, sendo a alternativa com menor custo é aquela com maior preferência.

c) Avaliação das alternativas em relação aos critérios

A consulta ao especialista responsável pela decisão, a caracterização do cenário e a pesquisa de mercado resultaram na Tabela 1, que corresponde aos valores de avaliação das alternativas com relação aos critérios.

Tabela 1 – Alternativas e critérios para avaliação.

Alternativas	Capacidade de Armazenamento (Gigabytes)	Desempenho do ROA	Custo do Investimento (R\$)
A1	500 GB	1	6.100,00
A2	500 GB	3	15.350,00
A3	1000 GB	2	15.800,00
A4	1500 GB	3	25.850,00

Fonte: Autor.

d) Ponderação dos Critérios

A explicitação da ponderação dos critérios não é uma atividade fácil, sendo o MAUT um método compensatório, o decisor deve ter consciência de que as ponderações dos critérios são expressas por meio de taxas de substituições (*trade-offs*). Assim, durante a entrevista foram dadas as explicações sobre o relacionamento desses para a compreensão do decisor, que em seguida respondeu a respeito da importância de cada um deles em relação aos demais.

Ressalta-se que o desempenho do ROA é o atributo de maior relevância segundo as preferências do decisor, seguido por capacidade de armazenamento e por último custo ($C2 > C1 > C3$).

A Tabela 2 mostra o resultado da ponderação dos critérios de acordo com as preferências. Pode-se verificar as compensações entre os atributos pelos valores dos coeficientes de ponderações cuja soma deve ser 1.

Tabela 2 – Ponderação dos critérios

	Capacidade de armazenamento	Desempenho do repositório	Custo de investimento
Pesos	0,3	0,5	0,2

Fonte: Autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez obtidos os dados da Tabela 1, é importante que o decisor saiba ordenar as consequências de cada ação de acordo com suas preferências. Isto é feito com o auxílio de um analista em tomada de decisão para que seja realizada a conversão da escala. A conversão foi realizada por julgamentos subjetivos do decisor com base em sua utilidade para cada atributo. A obtenção dos dados normalizados torna possível a comparação entre as alternativas de ROA.

A Tabela 3 seguinte mostra os valores em utilidade para as diferentes opções de infraestrutura de TI para ROA. O objetivo é maximizar a utilidade, ou seja, os maiores valores em utilidade das alternativas por critérios são aquelas que apresentam melhor desempenho.

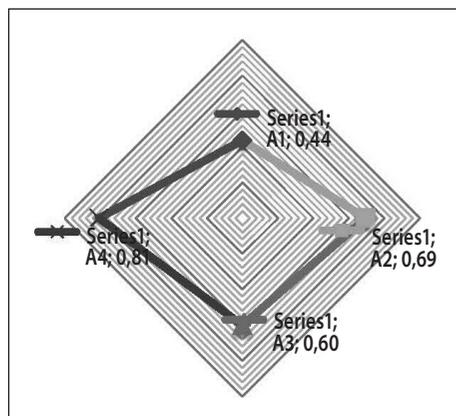
Tabela 3 – Matriz normalizada segundo utilidade do decisor.

	Capacidade de armazenamento	Desempenho do repositório	Custo de investimento
Pesos	0,3	0,5	0,2
A1	0,5	0,3	0,69
A2	0,5	1	0,22
A3	0,7	0,7	0,21
A4	1	1	0,03

Fonte: Autor.

É possível avaliar o desempenho de cada alternativa de infraestrutura de TI segundo critérios e seus respectivos pesos com a aplicação da função linear aditiva. Assim, foi obtido o valor da utilidade para as quatro alternativas mostradas na Figura 8 a seguir.

Figura 8 – Valor da utilidade para as alternativas de ROA.



Fonte: Autor.

Está demonstrada a utilidade para cada opção de infraestrutura de TI do ROA, resultado da aplicação da função linear aditiva. O OA distribuído e indexação distribuída (A4) corresponde a alternativa que apresenta maior utilidade segundo as preferências do decisor. Verifica-se que o resultado da utilidade desta alternativa é bem superior às demais, tal fato é comprovado pela dominância dos atributos: desempenho e capacidade de armazenamento.

4.1. Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade tem como finalidade estudar o comportamento das alternativas quando se muda as variáveis do problema. Esta análise foi realizada com base nos resultados para dois cenários diferentes. A análise dos cenários mostra a variação dos resultados das alternativas pela influência dos pesos dos critérios e mudanças nas preferências do decisor. Para isso, foram avaliados dois cenários em que foi alterada a ordem de importância para os atributos, comparando os resultados com a situação original, mostrada na seção 3.

- a) Cenário 1: Situação em que há maior peso para custo de investimento (0,5), seguido por desempenho (0,3) e, por último, capacidade de armazenamento (0,2) ($C3 > C2 > C1$).

Tabela 4 – Utilidade das alternativas no Cenário 1.

Alternativas	A1	A2	A3	A4
Utilidade	0,55	0,46	0,45	0,52

Fonte: Autor.

Nesta situação a alternativa que apresenta maior utilidade é A1, porém o segundo melhor resultado é A4. Isto significa que mesmo com mudanças nas preferências do decisor esta opção é menos sensível a mudanças, ao contrário de A1 que na primeira situação apresentou o menor valor de utilidade (0,44).

- b) Cenário 2: Esse estado se caracteriza como aquele em que há maior peso para capacidade de armazenamento (0,5), seguido por custo de investimento (0,3) e por último o desempenho (0,2) ($C1 > C3 > C2$).

Neste cenário o resultado de maior utilidade é A4 e as demais opções apresentam resultados próximos para utilidade como indicado na Tabela 5. Verifica-se que o desempenho de A4, assim como na situação original, é bem superior em utilidade se comparado às alternativas A3, A1 e A2.

Tabela 5 – Utilidade das alternativas no Cenário 2.

Alternativas	A1	A2	A3	A4
Utilidade	0,52	0,51	0,55	0,71

Fonte: Autor.

A análise de sensibilidade indica que, quando são considerados os resultados da situação original, assim como os dois cenários alternativos, a opção de ROA distribuído e indexação distribuída (A4) é menos sensível a mudanças. De acordo com a análise, A4 é a opção mais indicada para implantação de infraestrutura de TI para a organização de ensino em questão.

Observa-se que essa aplicação permite auxiliar empresas a escolher a tecnologia adequada de forma estruturada. A principal finalidade do MAUT não é apenas fornecer uma solução ótima, mas apoiar o decisor no processo de escolha.

Vale ressaltar que métodos de apoio à decisão que utilizam a Teoria da Utilidade Multiatributo, como foi descrito neste artigo, podem ser aplicados em outros tipos de processos decisórios relacionados com a TI. Encontraram-se conclusões análogas referentes às vantagens da metodologia como transparência da decisão, estruturação do processo, maior objetividade e consistência.

5. CONCLUSÃO

O aumento da demanda por cursos ofertados na modalidade EAD faz com que organizações invistam em infraestrutura de TI para atender as necessidades dos usuários. Foi realizada a caracterização e identificação dos requisitos do ROA em organizações educacionais, o que torna claro o processo de decisão para a escolha da infraestrutura e contribui para o planejamento da área.

A aplicação da Teoria da Utilidade Multiatributo trouxe como vantagem agregar as preferências do decisor na função valor e analisar com maior transparência o problema de seleção. Por meio da descrição da metodologia ora aqui apresentada, almeja-se que outros pesquisadores e profissionais responsáveis pela gestão possam replicar o trabalho e encontrar resultados análogos.

A análise de sensibilidade identificou o desempenho das alternativas em relação a mudança no peso das variáveis, onde para isso foram elaborados dois cenários que apresentavam modificações na ordem de preferências dos atributos. A opção de OA distribuído e indexação distribuída (A4) foi aquela que apresentou maior utilidade e se destacou por ser a opção menos sensível as alterações nas prioridades do decisor.

Vale ressaltar que esta opção apresenta o maior custo, porém melhores resultados para desempenho do ROA e maior capacidade de armazenamento. Propõe-se que a implantação da infraestrutura seja realizada de maneira planejada, pois a capacidade máxima de armazenamento será utilizada no quinto ano a contar do início da oferta dos cursos, o que possibilita maior custo benefício do investimento, sem, no entanto, comprometer o desempenho do sistema e a satisfação dos usuários.

A pesquisa limitou-se a caracterização e análise de organizações educacionais, assim sugere-se que a metodologia seja aplicada para casos em que o ROA é utilizado como base para a gestão do conhecimento. Nesse sentido, algumas adaptações são necessárias para a consecução do estudo futuro.

REFERÊNCIAS

- AUSTRALIAN NATIONAL TRAINING AUTHORITY – ANTA. VET learning object repository project. **Final Report and Recommendations**, 2003. Disponível em: <<http://pre2005.flexiblelearning.net.au>>. Acesso em: 02 set. 2008.
- BANA E COSTA, C. A. Introdução geral às abordagens multicritério de apoio à tomada de Decisão. **Investigação Operacional**, v. 8, n. 1, p. 117-139, 1988.
- BARRITT, C.; ALDERMAN, F. L. **Creating a reusable learning objects strategy: leveraging information and learning in a knowledge economy**. São Francisco: John Wiley & Sons, 2004.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Boston: Kluwer Academic, 2002.
- BUTLER, J. C.; DYER, J. S.; JIA, J.; TOMAK, K. Enabling e-transactions with multi-attribute preference models. **European Journal of Operational Research**, v. 186, p. 748-765, 2007.
- CAÑAS, A. J.; NOVAK, J. D. Facilitating the adoption of concept mapping using CmapTools to enhance meaningful learning. *In*: OKADA, A.; SHUM, S. M.; SHERBONE, T. **Knowledge Cartography: software tools and mapping techniques**. London: Springer Verlag, 2008.
- CENTERFORDIGITALEDCATION – C.D.E. The road to transformative learning in higher education: a three-part strategy. **Strategy paper**. California, 2013. Disponível em: <http://www.desire2learn.com/wp-content/uploads/2013/09/Desire2Learn_Whitepaper_Road_to_Transformative_Learning_in_Higher_Education.pdf> Acesso em: 05 dez. 2013.
- DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.
- DIGITAL PRESERVATION EUROPE – DPE. **Repository Planning Checklist and Guidance DPED 3.2**, 2008. Disponível em: <<http://www.digitalpreservationeurope.eu>>. Acesso em: 09 fev. 2009.
- GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**. São Paulo: Pioneira, 2004.
- _____; GOMES, C. F. S. **Tomada de Decisão Gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2012.
- _____; WOITOVICZ, B. B. C.; MORENO JUNIOR, V. A.; LUCAS, S. M. F. Uma abordagem multicritério para a seleção de ferramentas de business intelligence. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação**, v. 10, n. 2, p. 1677-3071, 2011.
- HUANG, S. Designing utility-based recommender systems for e-commerce: Evaluation of preference-elicitation methods. **Electronic Commerce Research and Applications**, v. 10, p. 398-407, 2011.
- HUANG, Y.; CHANG, W.; LI, W. LIN, Z. Aggregation of utility-based individual preferences for group decision-making. **European Journal of Operational Research**, v. 229, p. 462-469, 2013.
- KAMESHWARAN, S.; NARAHARI, Y.; ROSA, C. H.; KULKARNI, M.; TEW, J. D. Multiattribute electronic procurement using goal programming. **European Journal of Operational Research**, v. 179, p. 518-536, 2007.
- KEENEY, R.; RAIFFA, H. **Decision with Multiple Objectives: preferences and value trade-offs**. New York: John Wiley & Sons, 1976.
- KHANNA, P.; BASAK, P. C. An OER architecture framework: need and design. **The international review of research in open and distance learning**, v. 14, n. 1, 2013.

- LOPES, Y.; COSTA, A. P. C. S. Modelo de decisão para seleção de sistemas de informação baseado em decisão multicritério e programação inteira 0-1. **Revista Gestão Industrial**, v. 03, n. 4, p. 135-146, 2007.
- MENEZES, R. A.; SILVA, R. B.; LINHARES, A. Leilões eletrônicos reversos multiatributo: uma abordagem de decisão multicritério aplicada às compras públicas brasileiras. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 11, n. 3, p. 11-33, 2007.
- NAIDU, S. **E-learning: A Guidebook of principles, procedures and practices**. Nova Deli: CEMCA, 2006.
- NASCIMENTO, A. C. A. Objetos de aprendizagem: a distância entre a promessa e a realidade. *In*: PRATA, C. L.; NASCIMENTO, A. C. A. (Org.). **Objetos de aprendizagem: uma proposta de recurso pedagógico**. Brasília: MEC, SEED, 2007.
- NEIVA, S. B. **A escolha de softwares de e-procurement: uma análise multicritério**. Dissertação (Mestrado em Administração) - Faculdades Ibmecc. Rio de Janeiro, 2006.
- NEVEN, F.; DUVAL, E. Reusable learning objects: a survey of LOM-based repositories. *In*: Proceedings of the 10th ACM International Conference on Multimedia '02, December 1-6, Juan Les Pins: **IEEE Computer Society**. 2002. p. 291-294.
- OLIVIER, C.; PHILIPPE, V.; BROISIN, J. Learning object virtualization allowing for learning object assessments and suggestions for use. *In*: **Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies**, July 1-5, Santander, Cantabria: ICALT. 2008. p. 579-583.
- PERERA, S.; KARUNASENA, G. A. Decision support model for the selection of best value information technology procurement method. **Electronic Journal of Information Technology**, v. 13, p. 224-243, 2008.
- PRAKASH, L. S.; SAINI, D. K.; KUTTI, N. S. Integrating EduLearn Learning Content Management System (LCMS) with Cooperating Learning Object Repositories (LORs) in a Peer To Peer (P2P) architectural Framework. **SIGSOFT**, v. 34, n. 3, 2009.
- SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- SILVEIRA, I. F.; OMAR, N.; MUSTARO, P. N. Architecture of learning objects repositories. *In*: HARMAN, K.; KOOHANG, A. Learning objects: standards, metadata, repositories and LCMS. Santa Rosa, California: **Informing Science Press**, 2007.
- SREB-SCORE. **Planning and implementing SCORE**, 2009. Disponível em: <<http://www.sreb.org/programs/EdTech/SCORE/implementing.asp>> Acesso em: 01 ago. 2009.
- STRIJKER, A.; COLLIS, B. The influence of context on the future of learning objects. *In*: KOOHANG, A.; HARMAN, K. Learning objects: theory, praxis, issues, and trends. Santa Rosa: **Informing Science Press**. 2007.
- UNESCO. **Toolkit: A guide for participating in the international open education commons**. Outubro, 2009 - Version 1.1. Disponível em: <http://oerwiki.iiep-unesco.org/index.php?title=UNESCO_OER_Toolkit>. Acesso em: 09 dez. 2009.
- YIN, R. K. **Case study research: design and Methods**. Thousand Oaks: Sage, 2008.
- YUAN, S. A personalized and integrative comparasion-shopping engine and its applications. **Decision Support Systems**, v. 34, p. 139-156, 2003.

