



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação**

**Anilton Bezerra Maia**

***Custo Total de Propriedade Aplicado à Migração de Sistemas  
Legados para Ambiente de Computação em Nuvem***

**São Luís  
2023**

Anilton Bezerra Maia

**CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE APLICADO À MIGRAÇÃO DE SISTEMAS  
LEGADOS PARA AMBIENTE DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, da Universidade Federal do Maranhão.

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação  
Universidade Federal do Maranhão

Orientador: Prof. Dr. Mário Antonio Meireles Teixeira  
Coorientador: Prof. Dr. Carlos de Salles Soares Neto

São Luís  
2023

Anilton Bezerra Maia

**CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE APLICADO À MIGRAÇÃO DE SISTEMAS  
LEGADOS PARA AMBIENTE DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, da Universidade Federal do Maranhão.

São Luís - MA, 10 de Outubro de 2023

Prof. Dr. Mário Antonio Meireles Teixeira  
Orientador Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Carlos de Salles Soares Neto  
Co-orientador Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Geraldo Braz Junior  
Examinador Interno Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Júlio Cezar Estrella  
Examinador Externo Instituto De Ciências Matemáticas e de Computação - USP

São Luís - MA  
2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Maia, Anilton.

Custo Total de Propriedade Aplicado à Migração de  
Sistemas Legados para Ambiente de Computação em Nuvem /  
Anilton Maia. - 2023.

78 f.

Coorientador(a): Carlos de Salles Soares Neto.

Orientador(a): Mário Antonio Meireles Teixeira.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Ciência da Computação/ccet, Universidade Federal do  
Maranhão, São Luís, 2023.

1. Computação em nuvem. 2. Custo Total de  
Propriedade. 3. Escalabilidade de TI. 4. Migração de  
Sistemas Legados. I. Neto, Carlos de Salles Soares. II.  
Teixeira, Mário Antonio Meireles. III. Título.

*Aos meus imprescindíveis pais,  
Francisca Mesquita Bezerra Maia e Amilton Barra Nova Maia,  
que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até aqui.*

## **Agradecimentos**

Primeiramente e acima de tudo, agradeço a Deus por me conceder a oportunidade de realizar este trabalho e por me guiar em cada etapa do caminho.

À minha família, especialmente aos meus pais, que sempre me apoiaram incondicionalmente e me ensinaram valores importantes que moldaram quem eu sou hoje. Se não fosse por seu amor, orientação e incentivo, eu não teria chegado até aqui.

Dedico esta dissertação a todas as pessoas e organizações que estão comprometidas em criar um futuro mais sustentável para nosso planeta. Em particular, ao Professor Mário Antonio Meireles Teixeira, onde veio apoio incondicional e inspiração, e sem ao qual esse trabalho não seria possível.

Aos meus amigos, que sempre estiveram comigo nos bons e maus momentos e me forneceram o suporte emocional necessário para enfrentar os desafios que surgiram no caminho. Agradeço em especial aos que me ajudaram de alguma forma nesta conquista, seja oferecendo palavras de encorajamento, ajudando com a revisão de documentos ou simplesmente compartilhando sua sabedoria.

Mais uma vez, agradeço a todos que me apoiaram durante o processo e espero que este trabalho possa fazer uma pequena contribuição para um mundo melhor e mais sustentável.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.  
(Charles Chaplin)

## RESUMO

Com a ampla adoção da computação em nuvem, um dos principais desafios é a falta de uma estratégia abrangente e entendimento profundo das características envolvendo migração de sistemas legados para ambiente computacional em nuvem, tornando o planejamento da adoção mais desafiador. Migrar sistemas legados para plataformas em nuvem tem alto custo, bem como necessita de um processo rígido que possa validar custos operacionais, investimentos, desafios técnicos e não-técnicos. Neste trabalho apresentamos uma abordagem baseada em custo total de propriedade - TCO para tomada de decisão de migração de sistemas legados para ambiente computacional em nuvem. Nos experimentos realizados, foram alcançados 89% de vantagem financeira em relação ao modelo tradicional (on-premise), bem como outras vantagens adicionais como segurança, disponibilidade e escalabilidade. Isso demonstra que a abordagem baseada em TCO é uma solução eficaz para quem deseja migrar seus sistemas legados para o ambiente computacional em nuvem.

**Palavras-chave:** Computação em nuvem. Migração de Sistemas Legados. Custo Total de Propriedade. Escalabilidade de TI.

## **ABSTRACT**

With the widespread adoption of cloud adoption, one of the main challenges is the lack of a comprehensive strategy and deep understanding of the characteristics involved in migrating from legacy systems to the cloud computing environment, making adoption planning more intended. Migrating legacy systems to cloud platforms is costly, as well as requiring a rigid process that can validate operational costs, investments, technical and non-technical challenges. In this work, we present an approach based on total cost of ownership - TCO for decision-making on the migration of legacy systems to a cloud computing environment. In the experiments carried out, an 89% financial advantage was achieved in relation to the traditional model (on-premise), as well as other additional advantages such as security, availability and scalability. This demonstrates that the TCO-based approach is an effective solution for those looking to migrate their legacy systems to the cloud computing environment.

**Keywords:** Cloud computing. Legacy System Migration. Total Cost of Ownership. IT Scalability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo de implantação em nuvem .....	24
Figura 2 - Modelos de serviços em nuvem .....	25
Figura 3 - Arquitetura de computação em nuvem .....	27
Figura 4 - Comparação entre modelo de precificação .....	38
Figura 5 - Modelo de Referência de migração .....	43
Figura 6 - Modelo de avaliação proposto.....	45
Figura 7 - Visão geral do modelo proposto.....	46
Figura 8 - Principais módulos do SIGAA .....	51
Figura 9 - Camadas lógicas do SIGAA.....	52
Figura 10 - Topologia simplificada.....	53
Figura 11 - Número de requisições/dia SIGAA.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Instâncias disponíveis no Amazon EC2 .....	34
Tabela 2 - Instâncias Microsoft Azure no modelo pay-as-you-go .....	37
Tabela 3 - Todos os hipervisores .....	54
Tabela 4 - Instâncias criadas kubernetes – SIGs .....	54
Tabela 5 - Custo energia datacenter .....	58
Tabela 6 - Custo de equipamentos de TI - Datacenter .....	59
Tabela 7 - Custo de infraestrutura elétrica e refrigeração.....	59
Tabela 8 - Custo serviços técnicos especializados .....	60
Tabela 9 - Custo licenciamento de software.....	61
Tabela 10 - Custo Total de Propriedade.....	61
Tabela 11 - Templates precificação em nuvem.....	62
Tabela 12 - Custo Total de Propriedade Nuvem/Ano.....	63
Tabela 13 - Custo Total de Propriedade - 5 anos.....	64

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
AWS	<i>Amazon Web Services</i>
CFM	<i>Component Format Migration</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
EC2	<i>Amazon Elastic Compute Cloud</i>
CapEx	Despesas de Capitais Iniciais
DMZ	<i>Demilitarized Zone</i>
FaaS	<i>Function as a Service</i>
GCC	<i>Google Compute Engine</i>
GCP	<i>Google Cloud Platform</i>
GPU	Graphics Processing Unit
HM	<i>Holistic Migration</i>
HPC	<i>High Performance Computing</i>
IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
OpEx	Despesas Operacionais
OOB	<i>Rede Fora de Banda</i>
OVF	<i>Open Virtualization Format</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
PaaS	<i>Platform as a Service</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
SaaS	<i>Software as a Service</i>
SFM	Standardized Format Migration
SIG	Sistema Integrado de Gestão
SIGAA	Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>
USN	Unidade de Serviço em Nuvem
VM	<i>Virtual Machine</i>
vCPU	<i>Virtual Central Processing Unit</i>
XaaS	<i>Everything as a Service</i>

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	14
<b>1.1. Objetivos</b>	15
1.1.1 Objetivos Específicos	15
1.1.2 Contribuições	16
<b>1.2 Organização do Trabalho</b>	16
<b>2. TRABALHOS RELACIONADOS</b>	17
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	20
<b>3.1 Computação em Nuvem</b>	20
3.1.1 Características da Computação em Nuvem	21
3.1.2 Modelo de Implantação	22
3.1.3 Modelo de Serviços	24
3.1.4 Arquitetura de Computação em Nuvem	25
<b>3.2 Modelos de Precificação de Serviços em Nuvem</b>	27
3.2.1 Estado da arte em precificação	27
3.2.1.1 Precificação Estática	28
3.2.1.2 Precificação Dinâmica	29
3.2.1.3 Precificação Transiente	29
<b>3.2.3 Amazon Web Service (AWS)</b>	30
3.2.3.1 Amazon EC2 gratuito	31
3.2.3.2 Amazon EC2 <i>on demand</i>	31
3.2.3.3 Amazon EC2 <i>saving plans</i>	34
3.2.3.4 Amazon EC2 spot	34
<b>3.2.4 Microsoft Azure</b>	35
3.2.4.1 Azure <i>pay-as-you-go</i>	36
3.2.4.2 Azure <i>saving plans</i>	36
3.2.4.3 Azure <i>reserved instances</i>	37
<b>3.2.5 Google Cloud Platform (GCP)</b>	38
<b>3.3 Migração de Sistemas Legados</b>	38
<b>3.4 Custo Total de Propriedade (TCO)</b>	40
<b>3.6 Modelo de Referência</b>	41
<b>3.7 Modelo de Avaliação de Migração (MAM)</b>	43
<b>4. METODOLOGIA</b>	44
<b>4.1 Análise e Modelagem</b>	46
<b>4.2 Dimensionamento</b>	47
<b>4.3 Custos</b>	47

4.4 Definição .....	48
4.5 Estudo de Caso .....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS .....	64
6.1 Conclusão.....	64
6.2 Limitações e Trabalhos Futuros.....	65
6.3 Produções Científicas.....	65
REFERÊNCIAS .....	66
ANEXO A - MEMÓRIA DE CÁLCULO.....	70

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, um número cada vez maior de organizações prefere reposicionar suas informações, aplicativos e bases de dados em ambiente de computação em nuvem. A computação em nuvem é um modelo de fornecimento sob demanda que permite que os usuários explorem algumas vantagens, como adaptabilidade e custo reduzido. A migração para a nuvem é a maneira de mover toda ou parte da estrutura de dados e software de uma organização, de um domínio existente, para o estado de nuvem [H 2020].

Outra impressão comum fornecida é o valor dos sistemas legados e essa tem sido a razão para mantê-los funcionando nas organizações. Os sistemas legados oferecem suporte aos processos de negócios, mantêm o conhecimento organizacional e proporcionam vantagem competitiva significativa com um retorno e contribuição para a receita e crescimento da organização [Bennett 1995, Sneed 1995, Erlikh 2000].

Há duas abordagens principais para a migração de sistemas legados para a nuvem. A primeira abordagem é transpor a aplicação. Por outro lado, podemos adotar uma migração parcial ou híbrida. A primeira abordagem provavelmente fornecerá tempos de resposta mais altos. No entanto, este último é mais adequado para grandes sistemas, uma vez que não é apropriado mover tudo para a nuvem [Mallya 2011]. Na migração híbrida, algumas partes do aplicativo são movidas para a nuvem, enquanto outras partes são mantidas no local com base em seus requisitos de segurança ou desempenho. A adoção da migração híbrida tem várias vantagens. Em primeiro lugar, o dinheiro investido e o esforço em sistemas legados não são abandonados [Hajjat et al. 2010]. Em segundo lugar, construir novos sistemas do zero exigiria um investimento maior e relativamente a longo prazo, o que pode acarretar mais riscos do que adaptar o sistema legado passo a passo. O principal objetivo da migração de um sistema legado para a nuvem é essencialmente reduzir custos de manutenção, aumentar a reutilização e estender suas funcionalidades [Fahmideh et al. 2016].

Um exemplo de sistema legado, aqui contemplado é o Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA), que é parte de uma suíte de sistemas integrados e informatiza os procedimentos da área acadêmica da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) através dos módulos de: graduação, pós-graduação

(stricto e lato sensu), ensino técnico, ensino médio e infantil, submissão e controle de projetos e bolsistas de pesquisa, submissão e controle de ações de extensão, submissão e controle dos projetos de ensino (monitoria e inovações), registro e relatórios da produção acadêmica dos docentes, atividades de ensino a distância e um ambiente virtual de aprendizado denominado Turma Virtual [UFMA].

No entanto, para o sucesso da migração de sistemas legados para a nuvem, os investimentos em computação dependem da tomada de decisão precisas e eficientes. As implicações das decisões de investimento precisam ser quantificáveis e qualificáveis para permitir uma comparação de alternativas, tanto do ponto de vista do consumidor quanto do fornecedor [Heilig and Voss 2014]. O Custo Total de Propriedade (TCO) é o modelo de custos mais adotado em ambos os casos, pesquisa e prática, e foi definido como “um procedimento que fornece meios para determinar o valor econômico total de um investimento, incluindo as despesas de capital iniciais (CapEx) e as despesas operacionais (OpEx)” [Strebel and Stage 2010].

Entendendo a importância da migração de sistemas legados para ambiente computacional em nuvem, métodos de migração estão sendo desenvolvidos com o intuito de melhorar a tomada de decisão para migração ou não da infraestrutura legada. A proposta é fornecer um modelo de decisão baseado em custo total de propriedade para análise e diagnóstico, dimensionamento correto, cálculo de custos e tomada de decisão para migração de sistemas legados para ambiente computacional em nuvem.

## **1.1. Objetivos**

O Objetivo deste trabalho consiste em propor um modelo baseado em Custo Total de Propriedade - TCO para tomada de decisão de migração de sistemas legados para ambiente computacional em nuvem tendo como estudo de caso o sistema SIGAA da UFMA.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

Este trabalho busca os seguintes objetivos específicos aplicados à migração de sistemas legados para ambiente computacional em nuvem.

- Levantar o estado da arte em migração de sistemas legados e de computação em nuvem disponíveis na literatura;

- Definir um modelo de migração de sistemas legados para ambiente computacional em nuvem cujo uso seja adequado no domínio público ou privado;
- Propor um método de cálculo de Custo Total de Propriedade - TCO da migração dos sistemas legados a partir das informações geradas pela aplicação do modelo de referência;
- Avaliar o método proposto por meio de um experimento em um estudo de caso aplicado ao domínio do Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas - SIGAA da Universidade Federal do Maranhão;
- Avaliar o Custo de Migração de Sistemas Legados para Ambiente de Computação em Nuvem.

### 1.1.2 Contribuições

Para o alcance do objetivo geral e dos objetivos específicos descritos na Seção 1.1, são elencadas a seguir as principais contribuições desta dissertação:

- Um modelo baseado em custo total de propriedade para tomada de decisão de migração de sistemas legados para nuvem;
- Um mecanismo que combina análise e diagnóstico, dimensionamento, precificação utilizando custo total de propriedade e tomada de decisão para o usuário de computação em nuvem;
- Um estudo de caso composto pela execução detalhada de uma aplicação real de um sistema legado em ambiente educacional no contexto do ensino superior no Brasil, de forma a comprovar a escolha satisfatória de instâncias com base na análise de custos, assim como da adoção apropriada do modelo correto de migração do sistema legado;
- Uma discussão sobre a redução dos custos diretos ligados à migração de sistemas legados para nuvem e intervenções necessárias em infraestrutura de tecnologia da informação, bem como economia de custos indiretos devido aos gastos com despesas operacionais em ambiente tradicional (*on-premise*).

### 1.2 Organização do Trabalho

Além das seções introdutórias, este trabalho está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 2**, que descreve os trabalhos relacionados ao tema de migração de sistemas legados para nuvem e suas aplicações;
- **Capítulo 3**, que aborda uma fundamentação teórica detalhada sobre computação em nuvem e seus modelos de precificação de serviços, além da migração de sistemas legados e custo total de propriedade;
- **Capítulo 4**, apresenta o método proposto neste trabalho, bem como seu detalhamento em etapas. São mostrados os pontos necessários para migração de sistemas legados para nuvem e para a tomada de decisão;
- No **Capítulo 5**, são apresentados os resultados obtidos e discussões em relação aos experimentos realizados por meio de um estudo de caso aplicado a um sistema em ambiente educacional em instituição de ensino superior no Brasil; e, finalmente,
- **Capítulo 6**, que discorre sobre as considerações finais sobre os resultados, trabalhos futuros e os artigos científicos desenvolvidos.

## 2. TRABALHOS RELACIONADOS

A computação em nuvem é um tópico de pesquisa emergente pelas vantagens notórias que oferece como disponibilidade, escalabilidade, segurança, eficiência, dentre outras. Muitos trabalhos abordaram seu aspecto de migração (sair de sistemas legados para infraestrutura de nuvem), o que muitas vezes é visto como um problema complexo. A exemplo disso, em [Hajjat et al. 2010] os autores investigaram a migração híbrida de arquiteturas onde parte da operação da empresa é hospedada no local e a outra parte está na nuvem. A abordagem é baseada na otimização para identificar os componentes do aplicativo a serem migrados para a nuvem.

Migração de software não é um conceito novo. Em 1970, a norma ISO / IEC 14764 para manutenção de software [Mohagheghi and Sæther 2011] classificou a migração como um tipo de manutenção e evolução adaptativa - adaptando o software existente aos seus novos requisitos. Nos últimos anos, há um crescimento constante de pesquisas e práticas na migração de legado para plataformas de computação em nuvem [Abreu 2023].

[Binz et al. 2011] sugerem um framework de migração de aplicações para nuvem e entre provedores de nuvem. Definem também uma classificação das

migrações em três classes: a Migração de Formato Padronizado (do Inglês *Standardized Format Migration*), Migração de Formato de Componente (do Inglês *Component Format Migration*) e Migração Holística (do Inglês *Holistic Migration*).

A Migração de Formato Padronizado é a migração de um componente autônomo, implementado em um formato padronizado. Os componentes são migrados entre instâncias de um mesmo software ou para outro software que suporte o formato. Há muitos formatos que são utilizados para facilitar as migrações dessa classe. Um exemplo é a migração de imagens de máquinas virtuais no formato OVF (do Inglês *Open Virtualization Format*). Já na Migração de Formato de Componente, há a transformação de formatos. Tem-se como exemplo a transformação de uma imagem de máquina virtual do formato nativo de um hipervisor – sistema que implementa a camada de virtualização de uma infraestrutura para outra.

A Migração Holística, que contempla os objetivos do framework definido em [Binz et al. 2011], é a migração completa da aplicação, por meio da migração de cada componente separadamente. Diferentemente da Migração de Formato de Componente, a Migração Holística decompõe a aplicação, removendo seus componentes e os remodelando para IaaS, PaaS e SaaS. [Binz et al. 2011] identificaram três requerimentos para implementar a Migração Holística. O primeiro refere-se ao fato de que o framework deve ser independente de um modelo específico de aplicação. O segundo habilita a migração de componentes sem a necessidade de acessar o código-fonte. O terceiro diz que a migração holística deve ser aberta e extensível para o reuso de transformações implementadas anteriormente no framework.

Por outro lado, uma série de projetos é focada no provisionamento e migração de sistemas legados para ambientes baseados em nuvem (Infraestrutura como Serviço (IaaS) e Plataforma como Serviço (PaaS)).

Mais especificamente, REMICS2 é um projeto que tem como objetivo proporcionar a reutilização e migração dos sistemas legados para ambiente em nuvem [Mohagheghi and Sæther 2011]. Ele explora as técnicas orientadas por modelo para transformar sistemas legados em serviços em nuvem.

É vital mencionar a iniciativa CloudMIG3 que visa apoiar provedores de SaaS para migrar semi-automaticamente sistemas de software corporativo existentes para

PaaS escalável e com eficiência de recursos e aplicativos baseados em IaaS [Alonso et al. 2013].

O projeto ARTIST visa facilitar o planejamento, o desenho, a implementação e a validação da evolução automatizada de softwares legados para SaaS, utilizando um framework, e modelos de entrega de Cloud Computing [Frey and Hasselbring 2011]. O framework utilizado é limitado à migração de legado orientada à arquitetura e se concentra em abstrair detalhes de nível de código-fonte e preservar as propriedades necessárias de sistemas legados com transformação orientada à arquitetura. O projeto ARTIST é mais abrangente do que outras abordagens (incluindo os processos de implantação e certificação) que, em última análise, requer mais esforços (tempo de custo) para permitir a migração [Ahmad and Ali Babar 2014].

Strebel and Stage 2010 aplicaram um TCO em um modelo de decisão para aplicativo de software de negócios, durante a execução de simulações em um ambiente híbrido de nuvem. O modelo de decisão apenas incluiu uma comparação dos custos operacionais de TI, como despesas de servidor e armazenamento e as despesas externas de provisionamento por meio de serviços de computação em nuvem.

Rosati et al. 2019 discutiu o impacto do dimensionamento correto na modelagem de custos para tomada de decisão de migração e definição de preço de software para o mercado. Apresenta um processo integrado para medir o custo total de propriedade, levando em consideração o consumo de recursos IaaS/PaaS com base nos níveis de uso de SaaS previstos. O processo é ilustrado com um estudo de caso do mundo real utilizando Kubernetes em uma plataforma Openstack.

O Kubernetes é uma ferramenta de orquestração Open Source usada para implantar e gerenciar aplicativos em contêineres em escala. O Kubernetes gerencia facilmente o cluster com nós mestre e de trabalho nos quais os pods são hospedados. Atualmente, muitos provedores de infraestrutura em nuvem, como AWS, Google Cloud e Microsoft Azure, entendem a importância do Kubernetes e adicionam esses serviços aos seus produtos. O Openstack é uma plataforma IaaS em nuvem Open Source altamente gerenciável, na qual os componentes gerenciam enormes conjuntos de recursos de computação, armazenamento e rede. [Reddy et al. 2022] experimentou e comparou a implantação local do Kubernetes Cluster usando implantação de

Máquinas Virtuais - VM e implantação OpenStack. Um aplicativo de demonstração com arquitetura de microsserviços foi levado para este estudo em que comparamos o uso de CPU e memória na implantação do cluster em OpenStack e VMs.

A exemplo de abordagem baseada em TCO, Makhoulf 2020 estudou os custos de transação da computação em nuvem sob a perspectiva do cliente para tornar a jornada na nuvem menos nublada, ou seja, mais informada e bem planejada. Essa publicação aplica a teoria do TCO de transação à computação em nuvem por meio de uma análise 360 graus.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 Computação em Nuvem**

A computação em nuvem (ou *cloud computing*) se caracteriza como um modelo de computação distribuída para utilização de recursos computacionais em larga escala. Este novo modelo possui características que o diferenciam consideravelmente das abordagens computacionais tradicionais, tais como o uso extensivo de soluções de virtualização, a possibilidade de fornecimento de novos recursos através de provisionamento dinâmico e a utilização de um modelo de cobrança em função dos tipos de recursos disponibilizados e do tempo de utilização [Foster 2008].

Segundo o *National Institute of Standards and Technology* (NIST) [Mell and Grance 2011], a Computação em Nuvem é um modelo para permitir acesso ubíquo, conveniente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos computacionais configuráveis (por exemplo redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços), que podem ser rapidamente provisionados e disponibilizados com o mínimo de esforço de gerenciamento ou de interação com o serviço.

A computação em nuvem surgiu como uma plataforma que permite às organizações aproveitar os serviços distribuídos e interoperáveis para implantar seus sistemas de software sobre recursos disponíveis publicamente [Armbrust et al. 2010]. Do ponto de vista do negócio, as organizações podem se beneficiar do modelo de pagamento por uso oferecido pelos serviços em nuvem, em vez de uma compra antecipada de infraestrutura de alto custo e supraprovisionada [Buyya et al. 2009].

De uma perspectiva técnica, a escalabilidade, interoperabilidade e (des) alocação eficiente de recursos por meio de serviços em nuvem podem permitir uma execução sustentável das operações organizacionais [Herbst et al. 2013].

A computação em nuvem é a entrega de recursos de computação sob demanda com esforço de gerenciamento reduzido. Ela fornece infraestrutura, plataforma e software como serviços. Esses serviços são chamados de infraestrutura como serviço (IaaS), plataforma como serviço (PaaS) e software como serviço (SaaS), respectivamente [Vouk 2008].

### 3.1.1 Características da Computação em Nuvem

A computação em nuvem apresenta características essenciais em relação ao compartilhamento e ao provisionamento de recursos de infraestrutura computacional, que são [Mell and Grance 2011]:

- **Autoatendimento, serviço autônomo e sob demanda.** um consumidor pode solicitar provisionamento de capacidades computacionais, tais como tempo de processamento, espaço de armazenamento e aumento de largura de banda, sem a necessidade de interação humana com o provedor de serviço;
- **Amplio acesso à rede:** os recursos estão disponíveis por meio da Internet e podem ser acessados através de mecanismos padronizados por plataformas heterogêneas e de diferentes escalas (por exemplo, tablets, celulares e estações de trabalho);
- **Pool de recursos:** Os recursos de computação do provedor (armazenamento, capacidade de processamento, memória e largura de banda da rede) são agrupados para atender a vários usuários usando um modelo *multi-tenancy* (ou multi-inquilino). Diferentes recursos físicos e virtuais são atribuídos e reatribuídos dinamicamente de acordo com as demandas dos usuários. Há uma independência de localização em que o consumidor não tem controle ou conhecimento sobre a localização exata dos recursos disponibilizados pela computação em nuvem, mas pode ser capaz de especificar o local em um nível mais alto de abstração (por exemplo, país, estado ou datacenter local (*on-premise*));

- **Elasticidade rápida:** Os recursos de computação podem ser provisionados de forma rápida e elástica para aumentar rapidamente e liberados para diminuir rapidamente. Para o consumidor, os recursos disponíveis para provisionamento muitas vezes parecem ser ilimitados e podem ser utilizados em qualquer quantidade e a qualquer momento;

- **Serviço medido:** sistemas em nuvem automaticamente controlam e otimizam a utilização de recursos, aproveitando a capacidade de medição em algum nível de abstração apropriado para o tipo de serviço como, por exemplo, armazenamento, processamento e largura de banda. O uso de recursos pode ser monitorado, medido e controlado, tanto por parte do provedor quanto do consumidor do serviço.

O compartilhamento de recursos computacionais para obtenção de maior eficiência quanto ao melhor uso da infraestrutura provisionada é uma característica cada vez mais presente na computação em nuvem. O interesse surge tanto por parte dos provedores, que buscam melhor aproveitamento energético e aumento de lucro, quanto dos usuários, que procuram formas de reduzir custos [Barroso 2013].

### **3.1.2 Modelo de Implantação**

Em relação às fronteiras da computação em nuvem e seu posicionamento em uma ou mais organizações participantes, o modelo de serviço pode ser classificado, segundo [Mell and Grance 2011], conforme a Figura 1.

**Figura 1.** Modelos de implantação em nuvem.



Fonte: [Gabriel 2023].

**Nuvem Privada:** a infraestrutura de nuvem é provisionada para uso exclusivo por uma organização, que compreende vários consumidores (por exemplo, unidades de negócio). Pode ser gerenciada e operada pela própria organização que a utiliza, por uma organização externa, ou por uma combinação de ambas.

**Nuvem Comunitária:** a infraestrutura de nuvem é provisionada para uso exclusivo de uma comunidade específica de consumidores de organizações que compartilham características (por exemplo estratégia, missão, políticas de segurança e de compliance). Assim como na nuvem privada, pode ser gerenciada e operada por uma ou mais organizações participantes da comunidade, por uma organização externa, ou por uma combinação de ambas.

**Nuvem Pública:** a infraestrutura de nuvem é provisionada para uso aberto pelo público em geral. Pode ser gerenciada e operada por uma empresa, instituição acadêmica, organização governamental, ou alguma combinação delas.

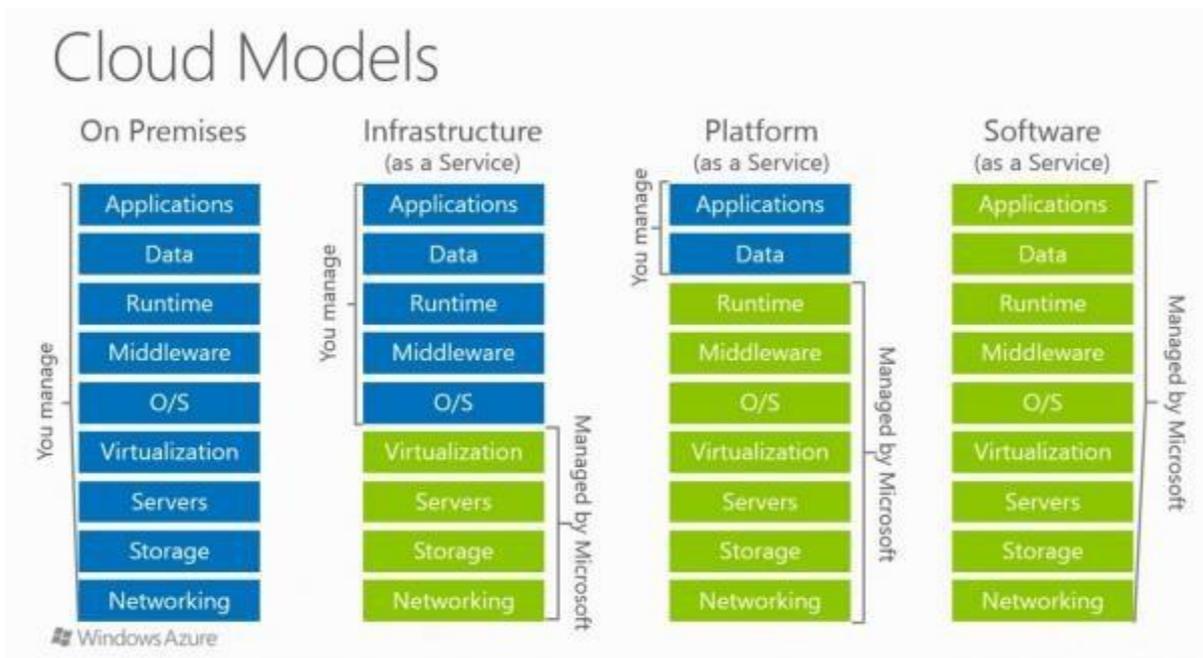
**Nuvem Híbrida:** a infraestrutura em nuvem é uma composição de duas ou mais infraestruturas distintas de nuvem (privada, comunitária ou pública), que permanecem como entidades únicas, mas que são unidas por tecnologia padronizada ou proprietária, que permite portabilidade de dados e aplicação. O uso dinâmico de nuvens públicas e híbridas proporciona a aplicação do conceito de cloud bursting, que

é a ampliação temporária da capacidade alocada para atendimento a uma demanda não prevista [Mell and Grance 2011].

### 3.1.3 Modelo de Serviços

Os serviços oferecidos na computação em nuvem são classificados de acordo com o nível de abstração em relação à infraestrutura disponibilizada, da seguinte forma [Mell and Grance 2011]:

**Figura 2.** Modelos de Serviços em Nuvem.



Fonte: [Robson 2017].

**Software como Serviço (Software as a Service ou SaaS):** consiste em fornecer ao consumidor a capacidade de utilizar aplicações do provedor que executam em infraestrutura de nuvem. As aplicações são acessíveis a partir de vários dispositivos clientes, através de uma interface simplificada, como um navegador ou aplicativo móvel. O consumidor não gerencia ou controla a infraestrutura de nuvem subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operacionais, armazenamento ou até mesmo recursos de aplicação, com exceção de configurações de usuário específicas e limitadas;

**Plataforma como Serviço (*Platform as a Service ou PaaS*):** consiste em fornecer ao consumidor capacidade de implantar aplicações desenvolvidas ou adquiridas usando linguagens de programação, bibliotecas e ferramentas suportadas pelo provedor. O consumidor não gerencia ou controla a infraestrutura de nuvem subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operacionais, armazenamento, mas tem o controle sobre as aplicações implantadas e configurações do ambiente de hospedagem das aplicações;

**Infraestrutura como Serviço (*Infrastructure as a Service ou IaaS*):** consiste em fornecer ao consumidor capacidade de provisionamento de processamento, armazenamento, acesso à rede e outros recursos computacionais fundamentais, em que o consumidor é capaz de implantar e executar software arbitrário, que pode incluir bibliotecas, compiladores e aplicativos. O consumidor não gerencia ou controla a infraestrutura de nuvem subjacente, mas tem o controle sobre configurações de sistema operacional, armazenamento e aplicativos implantados, assim como controle, geralmente limitado, de componentes de rede (por exemplo, firewalls).

Independente do modelo de serviço adotado, é importante que sejam observadas e acordadas entre provedores e usuários as características de disponibilidade, segurança, desempenho e qualidade dos serviços provisionados [Mell and Grance 2011].

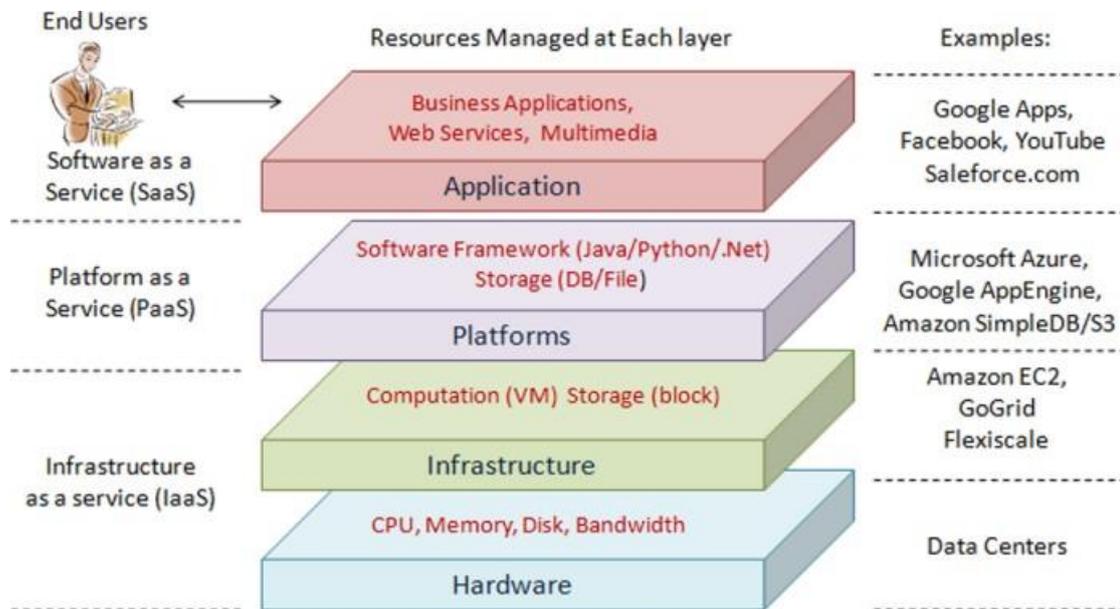
Recentemente, vários modelos para definir “qualquer coisa como serviço” (***Everything as a Service ou XaaS***) [Duan 2015] têm sido propostos no contexto de computação em nuvem, incluindo discussões sobre produtos, processos, dados, informações e segurança como serviço, dentre outros. Um desses modelos, denominado (***Function as a Service ou FaaS***), define a execução de código em resposta a eventos, sem existência de infraestrutura complexa e normalmente está associado a microsserviços [Fowler 2018].

### 3.1.4 Arquitetura de Computação em Nuvem

A arquitetura de computação em nuvem mostrada na Figura 3 se baseia na modelagem em camadas, levando em consideração o modelo de serviço, partindo do

hardware físico na camada mais inferior e aumentando-se o nível de abstração, na medida em que as camadas superiores são introduzidas [Zhang 2010].

**Figura 3.** Arquitetura de computação em nuvem.



Fonte: [Zhang 2010]

De baixo para cima (Figura 3), na camada de Hardware, são gerenciados recursos de infraestrutura computacional em nível físico, como CPU, memória RAM, recurso de armazenamento secundário (disco rígido ou outras mídias) e largura de banda. Esta camada se traduz em ativos físicos, como servidores, storages, switches, roteadores e outros equipamentos, normalmente localizados em datacenters.

Na camada seguinte, de Infraestrutura, são provisionados os recursos virtualizados, como máquinas virtuais (Virtual Machines ou VM), armazenamento secundário e redes virtuais. Os provedores de computação em nuvem no modelo IaaS se inserem nesta camada, como *Amazon Elastic Compute Cloud* (Amazon EC2), *Google Compute Engine* (Google CC) e *Microsoft Azure IaaS*. Na camada de Plataforma, os componentes para desenvolvimento distribuído, como bibliotecas, frameworks, middlewares, servidores de aplicação, mensageria e banco de dados são provisionados, seguindo o modelo proposto de plataforma como serviço ou PaaS. Os provedores de computação em nuvem que ofertam serviços no modelo IaaS normalmente também ofertam serviços no modelo PaaS, como Google e Amazon. Na

camada mais superior, serviços e aplicações específicos de negócio são oferecidos, de forma que a complexidade relacionada à gestão e configuração de recursos de infraestrutura é completamente transparente para o usuário final. Alguns exemplos de aplicações relacionadas ao compartilhamento e edição colaborativa de documentos, como Google Apps , e de streaming de vídeo, como Netflix, utilizam o modelo de software como serviço, em que o usuário usufrui dos recursos por meio de uma assinatura mensal.

### **3.2 Modelos de Precificação de Serviços em Nuvem**

Políticas de precificação em computação em nuvem tem como objetivo o estabelecimento de regras para comercialização dos recursos computacionais entre provedores de serviço e usuários. Do ponto de vista do provedor, a política atende aos objetivos de maximização do lucro e melhoria na eficiência quanto à utilização dos recursos, evitando-se assim a ociosidade dos mesmos. Do lado do usuário, a política proporciona a definição da estratégia de alocação dos recursos, de modo a minimizar os custos e maximizar as características de infraestrutura e capacidade computacional. Portanto, a política de precificação estabelece o mecanismo que proporciona as transações de compra e venda temporária de recursos computacionais virtuais entre provedores e usuários, considerando capacidade, demanda, requisitos, utilidades e outros fatores econômicos [Varian 2014].

#### **3.2.1 Estado da arte em precificação**

Considerando a definição de preços de recursos a serem provisionados, os modelos de precificação podem ser classificados como estáticos, dinâmicos ou transientes. No primeiro caso, o estático, o preço não varia no decorrer do tempo de utilização do recurso, permitindo ao usuário a previsibilidade de custos ao término do período contratado. Já no caso da precificação dinâmica, o preço de provisionamento de um determinado tipo de recurso varia no decorrer do tempo em razão de um ou mais fatores, como a demanda existente por aquele recurso, não permitindo ao usuário a previsibilidade exata de custos ao final do período contratado. Os modelos de precificação também podem ser classificados como permanentes ou transientes,

dada a possibilidade de revogação da instância por parte do provedor de nuvem. Esta característica tem forte influência nos custos das instâncias contratadas e impõe ao usuário a necessidade de tratamento de interrupções no fornecimento dos recursos. Essa característica faz com que a computação em nuvem possibilite o menor investimento em ativos de infraestrutura, reduzindo o custo de propriedade e proporcionando às organizações o redirecionamento de investimentos para o negócio propriamente dito [Wang 2017].

A precificação transiente é uma derivação da precificação dinâmica para garantir maior economia para o consumidor.

### **3.2.1.1 Precificação Estática**

No modelo de precificação estática, o provedor de acesso determina o preço a ser pago pelo usuário de forma fixa e em função do tempo de utilização da infraestrutura. Portanto, este preço invariável possibilita ao usuário a realização do planejamento prévio de custos em função da infraestrutura a ser utilizada. O pagamento é realizado após a utilização dos recursos computacionais, sendo também comumente conhecido como modelo de precificação sob demanda (*on demand*). Uma variação do modelo de precificação estático conhecida como reserva antecipada (*reserved*) consiste na realização de reserva de recursos de infraestrutura por muito tempo (por exemplo, um ano) e com pagamento adiantado. Assim, o usuário arca com o risco de contratar uma infraestrutura computacional e mantê-la por um longo período pré-determinado, havendo ou não necessidade dos recursos contratados. O valor pago ao provedor é ligeiramente menor do que no modelo sob demanda, cerca de 5% inferior nas 18 horas de pico de utilização, entre segundas e sextas-feiras, e até 10% nas demais horas, aos sábados e domingos [Wang 2017]. Por parte do provedor de nuvem, essa variação do modelo de precificação estático é bastante vantajosa, pois estabelece uma previsibilidade quanto ao provimento dos recursos e, conseqüentemente, melhor aproveitamento da infraestrutura disponível.

### 3.2.1.2 Precificação Dinâmica

O modelo de precificação dinâmica se baseia em flutuação do preço em função da demanda, sendo que o provedor oferece recursos de infraestrutura computacional a um preço variável, dependendo da quantidade ofertada e da demanda existente. Dessa forma, os usuários que estão dispostos a pagar mais conseguem contratar os recursos computacionais com probabilidade mais alta do que os usuários que possuem grandes restrições de custo. Assim sendo, se houver pouca demanda, os recursos podem ser contratados por valores significativamente menores do que os praticados no modelo estático. Normalmente, são utilizados modelos de mercado baseados em leilões, modelos teóricos e econômicos de jogos, técnicas de machine learning e simulações para a intermediação das contratações por meio de precificação dinâmica. Uma característica importante que difere a precificação dinâmica em relação à estática é o fato de que se o preço dos recursos computacionais ultrapassar o valor que o usuário está disposto a pagar, o provimento do recurso é interrompido. Isso requer que a aplicação do usuário esteja preparada para situações desse tipo, de modo que o processamento não se perca e possa ser retomado posteriormente [Narahari 2005].

### 3.2.1.3 Precificação Transiente

A precificação dinâmica é utilizada pela Amazon para oferta de instâncias *spot* com objetivo de minimizar a capacidade ociosa de sua infraestrutura. De forma semelhante, o Google fornece instâncias preemptíveis de modo a aproveitar a sua infraestrutura não utilizada. Ambos os modelos de precificação dinâmica da Amazon e de instâncias preemptíveis do Google podem ser caracterizados como modelos de precificação de instâncias transientes. O conceito “transiente” se refere à possibilidade de o provedor poder revogar as instâncias unilateralmente dos usuários, de modo a possibilitar atendimento a requisições com maior prioridade, ou que proporcionam maior lucro [Shastri 2016]. As instâncias transientes, geralmente, possuem preços mais baixos em relação às instâncias de preço fixo, em razão de não haver garantia quanto à disponibilidade futura da instância. Para o usuário, pode proporcionar economia, desde que sua aplicação seja tolerante a interrupções, o que normalmente

traz alguma sobrecarga de processamento em função de tratamento de checkpoints [Shastri 2016]. Para o provedor de nuvem, proporciona maior utilização de recursos ociosos, assim como flexibilidade com a possibilidade de revogação de recursos provisionados.

As instâncias preemptivas de VM estão disponíveis por um preço muito mais baixo (um desconto de 60% a 91%) em comparação com o preço das VMs padrão. No entanto, o Compute Engine poderá interromper essas instâncias (ou seja, forçar a interrupção delas) caso precise recuperar a capacidade de computação para alocação em outras VMs. Instâncias preemptivas usam capacidade extra do Compute Engine, por isso a disponibilidade delas varia com o uso.

Se seus apps forem tolerantes a falhas e puderem resistir a possíveis preempções de instância, as instâncias preemptivas poderão reduzir consideravelmente os custos do Compute Engine. Por exemplo, jobs de processamento em lote podem ser executados em instâncias preemptivas. Quando algumas dessas instâncias são interrompidas durante o processamento, o job fica lento, mas não para por completo. As instâncias preemptivas concluem as tarefas de processamento em lote sem colocar carga de trabalho extra nas instâncias atuais e sem exigir que você pague o preço total de instâncias normais extra [Google 2023].

### **3.2.3 Amazon Web Service (AWS)**

No provedor AWS, instâncias de máquinas virtuais são oferecidas por meio do serviço *Amazon Elastic Compute Cloud* (Amazon EC2) em três principais modelos de precificação [AWS 2023]: *on demand*, *saving plans* e *spot*. Nos dois primeiros, o preço é estático por hora, não havendo variação.

O terceiro modelo de precificação denominado *spot* é caracterizado como dinâmico e transiente, pois é utilizado um mecanismo de mercado que faz com que o preço das instâncias varie em função da oferta e demanda de recursos computacionais. O modelo de precificação *spot* divide-se em *spot tradicional*, descrito acima, *spot fleet* e *spot block*. O *spot fleet* permite que um conjunto de instâncias

sejam tratadas de maneira única, enquanto o *spot block* permite que o usuário tenha a garantia de que a instância esteja disponível por até 6 horas. O uso das tecnologias de contêineres se tornou bastante popular como alternativa ao uso de máquinas virtuais. No entanto, serviços de nuvem pública no modelo IaaS bem conhecidos, como Amazon EC2, oferecem instância de máquina virtual no modelo de infraestrutura como serviço, seja para processamento de aplicações ou até mesmo provimento de contêineres e outros serviços. Portanto, as análises de custos e disponibilidade se concentraram na utilização de instâncias de máquinas virtuais [AWS 2023].

### **3.2.3.1 Amazon EC2 gratuito**

A empresa AWS permite o uso de seus serviços com um nível de gratuidade a partir de uma política de utilização chamada EC2 gratuito. Esse serviço inclui 750 horas de instâncias Linux e Windows todo mês durante um ano.

Neste modelo também é possível acesso padrão a 5 GB de armazenamento, avaliação de 2 meses em ferramentas de machine learning para desenvolvedores e cientistas de dados (Amazon SageMaker), entre outros recursos [AWS 2023].

Essa abordagem traz um diferencial para os usuários, dando a possibilidade de experimentação ou mesmo tempo para planejamento adequado do uso dos serviços ofertados pela AWS.

### **3.2.3.2 Amazon EC2 on demand**

No modelo Amazon EC2 on demand, o usuário paga em dólar por hora (US\$/hour) sem necessidade de contratação por tempo mínimo. É o modelo que traz mais comodidade ao usuário, uma vez que não é preciso fazer qualquer previsão com relação ao tempo ou à quantidade de recursos que serão alocados. Por outro lado, é considerado um modelo caro. [Chaisiri 2017].

As instâncias sob demanda permitem que você pague pela capacidade computacional por hora ou segundo, sem nenhum compromisso de longo prazo. Desse modo, você fica livre dos custos e das complexidades de planejamento,

compras e manutenção de hardware e transforma os habituais altos custos fixos em custos variáveis bem menores.

Segundo [AWS 2023], as instâncias sob demanda são recomendadas para :

- Usuários que preferem o custo baixo e a flexibilidade do EC2 sem nenhum pagamento adiantado ou compromisso de longo prazo;
- Aplicações com workloads breves, com picos de utilização ou imprevisíveis e que não podem ser interrompidas;
- Aplicativos sendo desenvolvidos ou testados no EC2 pela primeira vez.

No serviço Amazon EC2, as instâncias, ou máquinas virtuais, são classificadas de acordo com o propósito de utilização, sendo para uso geral (general purpose) ou otimizada para algum tipo de uso, como memória (memory optimized), CPU (CPU optimized), unidade gráfica (GPU optimized) ou armazenamento (storage optimized).

A Tabela 1 mostra vinte tipos de instâncias disponíveis para cada propósito, assim como suas características de infraestrutura e preços por hora de utilização, considerando instâncias com sistema operacional Linux e na localidade no estado de São Paulo, região sudeste do Brasil. Em 22/08/2023 existiam 360 tipos de instâncias disponíveis para provimento neste modelo de precificação.

**Tabela 1.** Instâncias disponíveis no amazon ec2.

<b>Nome da instância</b>	<b>Taxa horária sob demanda</b>	<b>vCPU</b>	<b>Memória</b>	<b>Armazenamento</b>	<b>Performance das redes</b>
t4g.nano	0,0067 USD	2	0,5 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t4g.micro	0,0134 USD	2	1 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t4g.small	0,0268 USD	2	2 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t4g.medium	0,0536 USD	2	4 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t4g.large	0,1072 USD	2	8 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t4g.xlarge	0,2144 USD	4	16 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t4g.2xlarge	0,4288 USD	8	32 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3.nano	0,0084 USD	2	0,5 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3.micro	0,0168 USD	2	1 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3.small	0,0336 USD	2	2 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3.medium	0,0672 USD	2	4 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3.large	0,1344 USD	2	8 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3.xlarge	0,2688 USD	4	16 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3.2xlarge	0,5376 USD	8	32 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3a.nano	0,0076 USD	2	0,5 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3a.micro	0,0151 USD	2	1 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3a.small	0,0302 USD	2	2 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3a.medium	0,0605 USD	2	4 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3a.large	0,121 USD	2	8 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits
t3a.xlarge	0,2419 USD	4	16 GiB	Somente EBS	Até 5 gigabits

Fonte: [aws 2023].

Em relação ao espaço de armazenamento, o provedor Amazon oferece o serviço *Elastic Block Storage* (EBS), que fornece volumes de armazenamento em

blocos persistentes para uso com instâncias do serviço EC2. Cada volume EBS é replicado automaticamente e internamente na zona de disponibilidade (região geográfica) para proteção quanto a falhas de componente de hardware [AWS 2023].

### 3.2.3.3 Amazon EC2 *savings plans*

*Savings Plans* é um modelo de preços flexível que pode ajudar você a reduzir sua fatura em até 72% em comparação com os preços sob demanda, em troca do compromisso com uma quantidade consistente de uso (medida em USD/hora) por um período de 1 ou 3 anos.

A AWS oferece três tipos de Savings Plans: Savings Plans para computação, Savings Plans para instâncias do EC2 e Savings Plans do Amazon SageMaker. Os Savings Plans para computação aplicam-se ao uso no Amazon EC2, AWS Lambda e AWS Fargate.

Os Savings Plans são recomendados para:

- Uso comprometido e estável;
- Usuários que desejam aproveitar as ofertas mais recentes de computação e, ao mesmo tempo, continuar a economizar dinheiro.

As reservas adiantadas podem ser feitas para períodos de 1 ou 3 anos, sendo este último período o que proporciona maiores descontos. Ambos os modelos sob demanda e saving plans são classificados como modelos de preço estático.

### 3.2.3.4 Amazon EC2 *spot*

As instâncias Spot do Amazon EC2 permitem que você aproveite a capacidade não utilizada do EC2 na AWS Cloud (Nuvem AWS) e estão disponíveis com um desconto de até 90% em comparação com os preços sob demanda [AWS 2023].

Esta oferta é definida por instâncias ociosas que não foram comercializadas no preço fixo, sendo estabelecido um preço em função da demanda dos usuários, que oferecem lances. Caso o lance esteja acima do preço estabelecido, a instância é fornecida ao usuário, caso contrário, é interrompida.

As Instâncias Spot são recomendadas para:

- *Workloads* tolerantes a falhas ou sem estado;

- Aplicativos que podem ser executados em hardware heterogêneo;
- Aplicações que têm períodos de início e de término flexíveis;
- Processamento analítico: análises complexas, como a varredura de log ou simulações, geralmente realizadas como trabalhos em lote (*batch processing*);
- Computação Científica: execução de simulações que vão desde a descoberta de novos medicamentos até a pesquisa genômica;
- Codificação de imagens e mídias: processamento e codificação de ativos de mídia, como imagens, vídeos ou conteúdo digital específico;
- Análise geoespacial: renderização e processamento de imagem de satélite.

Para usar instâncias spot, o usuário deve realizar uma requisição que inclui o preço máximo que o usuário está disposto a pagar por hora e por instância (preço de lance) e outras restrições, como o tipo de instância e a zona de disponibilidade (localização do datacenter).

### 3.2.4 Microsoft Azure

O provedor *Microsoft Azure* oferece serviços de provisionamento em computação em nuvem, incluindo máquinas virtuais, bancos de dados e ambientes de armazenamento. As máquinas virtuais suportam, além dos sistemas operacionais da própria Microsoft, várias distribuições Linux. Da mesma maneira que nos provedores AWS e GCP, elas são classificadas de acordo com a finalidade de utilização, ou seja, de propósito geral ou otimizada para algum tipo de recurso, como CPU, GPU, memória, armazenamento ou para processamento em alto desempenho (high performance computing ou HPC). O provedor trabalha principalmente com o modelo de precificação pay-as-you-go, em que o usuário paga somente pelo tempo de utilização, após o provisionamento ter sido realizado. Existe também a previsão do fornecimento do serviço no modelo de reserva antecipada, em que o usuário pode reservar antecipadamente recursos por um período de tempo pré-estabelecido, pagando de forma adiantada um valor menor em comparação ao preço sob demanda [Azure 2023].

### 3.2.4.1 Azure *pay-as-you-go*

As instâncias disponíveis para utilização *pay-as-you-go* (sob demanda) são mostradas na Tabela 2. Em 22 de agosto de 2023, havia 99 tipos de instâncias disponíveis para provimento neste modelo de precificação com sistema operacional Linux, localizadas na região sudeste do Brasil.

**Tabela 2.** Instâncias microsoft azure no modelo *pay-as-you-go*.

Instance	vCPU(s)	RAM	Temporary storage	Pay as you go
B2ts v2	2	1 GiB	0 GiB	\$0.0168/hour
B2ls v2	2	4 GiB	0 GiB	\$0.0672/hour
B2s v2	2	8 GiB	0 GiB	\$0.1340/hour
B4ls v2	4	8 GiB	0 GiB	\$0.2380/hour
B4s v2	4	16 GiB	0 GiB	\$0.2690/hour
B8ls v2	8	16 GiB	0 GiB	\$0.4760/hour
B8s v2	8	32 GiB	0 GiB	\$0.5380/hour
B16ls v2	16	32 GiB	0 GiB	\$0.9520/hour
B16s v2	16	64 GiB	0 GiB	\$1.0750/hour
B32ls v2	32	64 GiB	0 GiB	\$1.9040/hour
B32s v2	32	128 GiB	0 GiB	\$2.1500/hour

Fonte: [azure 2023].

### 3.2.4.2 Azure *saving plans*

Neste modelo, economiza-se dinheiro em serviços de computação selecionados globalmente, comprometendo-se a gastar um valor fixo por hora por 1 ou 3 anos, desbloqueando preços mais baixos até atingir seu compromisso por hora. Adequado para cargas de trabalho dinâmicas enquanto acomoda mudanças planejadas ou não planejadas.

A Figura 4 demonstra os seguintes cenários [Azure 2023]:

**Figura 4.** Comparação entre modelo de precificação.



Fonte: [azure 2023]

Se o uso for menor ou igual ao valor por hora:

- Os preços de planos de poupança são mais baixos;
- O pagamento será o valor total por hora, mesmo que o uso seja menor;
- Não incorre em custos adicionais – o uso é coberto pelo plano.

Se o seu uso for maior que o valor por hora:

- O uso até o valor por hora é cobrado a preços mais baixos e incluído no custo do seu plano;
- O uso adicional é cobrado a preços pré-pagos e faturado separadamente.

### 3.2.4.3 Azure reserved instances

O modelo de reserva antecipada (reserved instances) possibilita contratação de instâncias virtuais por 1 ou 3 anos. Segundo a Microsoft, dona da plataforma Azure, o serviço proporciona redução significativa dos custos entre 36% e 52% em comparação ao modelo sob demanda (ou pay-as-you-go) [Azure 2023]. O

modelo é semelhante aos modelos EC2 reserved [AWS 2023] e GCP *reserved* [Google 2023].

### 3.2.5 Google Cloud Platform (GCP)

O Google Cloud Platform (GCP) é a plataforma para computação em nuvem do Google, cujo serviço *Google Compute Engine* (Google CC) provê instâncias de máquinas virtuais no modelo Infraestrutura como Serviço ou IaaS. O provedor oferece duas categorias de configuração de hardware: máquinas pré-definidas (*predefined*) ou personalizadas (*custom*). Na primeira categoria, são oferecidas configurações sem compartilhamento de núcleos de processamento (*standard machine*) e configurações que permitem compartilhamento de forma a possibilitar *bursting*, isto é, onde instâncias virtuais usam núcleos de CPU adicionais por curtos períodos de tempo. Além dessas, são oferecidas configurações voltadas para uso intensivo de memória (*high-memory*) e CPU (*high-CPU*). Em todos os casos, a cobrança é feita pelo período mínimo de utilização de 10 minutos, sendo cobrados valores adicionais por minuto de utilização [Google 2023].

### 3.3 Migração de Sistemas Legados

O termo sistema legado apareceu pela primeira vez na literatura de TI em 1990, significando "relacionado a, ou sendo um sistema de computador anterior ou desatualizado" [Holland et al. 1999]. Muitas outras definições podem ser encontradas. Por exemplo, uma definição anterior, de [Bennett 1995], diz "grandes sistemas de software que não sabemos como lidar, mas eles são vitais para a nossa organização". No entanto, sistemas modernos, como sistemas baseados na web que foram desenvolvidos usando as tecnologias mais recentes disponíveis no mercado, mas atualmente não satisfazem novos requisitos de negócios, também são considerados como sistemas legados [Razavian and Lago 2015].

Uma impressão comum fornecida em todas as definições acima é o valor dos sistemas legados e essa tem sido a razão para mantê-los trabalhando nas organizações. Os sistemas legados oferecem suporte aos processos de negócios, mantêm o conhecimento organizacional e proporcionam vantagem competitiva

significativa com um retorno e contribuição para a receita e crescimento da organização [Bennett 1995, Sneed 1995, Erlikh 2000].

A migração de software não é um conceito novo. Em 1970, a norma ISO / IEC 14764 para manutenção de software [Mohagheghi and Sæther 2011] classificou a migração como um tipo de manutenção e evolução adaptativa - adaptando o software existente aos seus novos requisitos. Nos últimos anos, há um crescimento constante de pesquisas [Babar and Chauhan 2011] e práticas na migração de legado para plataformas de computação em nuvem.

Existem duas abordagens principais para a migração de sistemas legados para a nuvem. A primeira é transpor toda a aplicação para nuvem seguindo o conceito de abordagem holística. Por outro lado, podemos adotar uma migração parcial com tempo de resposta mais alto, conceitos de componentização de software com alto custo. Outra abordagem é a híbrida que é mais adequada para grandes sistemas, uma vez que não é apropriado migrar tudo para a nuvem [Mallya 2011]. Na migração híbrida, algumas partes do aplicativo são migradas para a nuvem, enquanto outras partes são mantidas no local com base em seus requisitos de segurança ou desempenho. A adoção da migração híbrida tem várias vantagens. Em primeiro lugar, o dinheiro investido e o esforço em sistemas legados não são abandonados [Hajjat et al. 2010]. Em segundo lugar, construir novos sistemas do zero exigiria um investimento maior e de relativamente longo prazo, o que acarreta mais riscos do que adaptar o sistema legado passo a passo.

Abordando esses requisitos de modernização, a computação em nuvem vem sendo reconhecida como uma iniciativa promissora. O principal objetivo da migração de um sistema legado para a nuvem é essencialmente reduzir custos de manutenção, aumentar a reutilização e estender suas funcionalidades [Fahmideh et al. 2016].

A fim de responder às necessidades de suporte sistemático para migração de sistemas legados para computação em nuvem, [Jamshidi et al. 2014] utilizou um framework que suporta uma migração incremental e orientada por processo de arquiteturas de sistemas legados para arquiteturas de serviço baseadas em nuvem. As arquiteturas nativas da nuvem têm vantagens técnicas em termos de isolamento e reutilização, reduzindo custos de manutenção e operação. Nuvens PaaS com seu

suporte recente para arquiteturas de microsserviços em contêineres são os ambientes ideais para criar sistemas nativos da nuvem.

Um exemplo de sistema legado, aqui contemplado, é o Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA) que informatiza os procedimentos da área acadêmica da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) através dos módulos de: graduação, pós-graduação (stricto e lato sensu), ensino técnico, ensino médio e infantil, submissão e controle de projetos e bolsistas de pesquisa, submissão e controle de ações de extensão, submissão e controle dos projetos de ensino (monitoria e inovações), registro e relatórios da produção acadêmica dos docentes, atividades de ensino a distância e um ambiente virtual de aprendizado denominado Turma Virtual [UFMA].

### **3.4 Custo Total de Propriedade (TCO)**

Segundo [Degraeve and Roodhooft 1999], o Custo Total de Propriedade (TCO - Total Cost of Ownership) pode ser definido como as variáveis que estão associadas a todas as atividades que irão gerar custos a partir desse bem, sendo uma integração de atividades. Pode ser definido ainda como o custo “mais verdadeiro” de um serviço ou bem adquirido e é formado pelo seu custo de aquisição acrescido de outros fatores que gerarão custos adicionais durante o tempo de propriedade. Dessa forma, o TCO pode ser compreendido como um levantamento de todas as atividades que envolvam o produto ou serviço antes da sua aquisição até o seu sucateamento, descarte e/ou reciclagem. O TCO é uma ferramenta que pode ser usada para a tomada de decisão e sua abordagem requer que compradores determinem quais custos eles consideram mais importantes na aquisição de um produto ou serviço ao longo do ciclo de vida do produto.

O modelo é apresentado por Riggs e Robbins [Riggs and Robbins 1998], sendo que a fórmula para calcular o valor do TCO é:

$$\text{TCO} = \text{CM} + \text{PC} + \text{F} + \text{M} + \text{O} + \text{CD} - \text{VD}$$

**Onde:**

CM = Custo dos Materiais secundários ou complementares;

PC = Preço de Compra;

F = Frete e transporte;

M = Custos de manutenção;

O = Custos de operação;

CD = Custos de Descarte; e,

VD = Valor de Descarte.

Com esta fórmula [Riggs and Robbins 1998] coletaram os principais custos que custos estariam envolvidos no Custo Total de Propriedade.

[Riggs and Robbins 1998] aplicaram a fórmula em uma organização química, onde a fórmula foi reorganizada para que se encaixasse melhor no que a organização precisava. Foram retirados alguns custos e incluídos outros que eram mais relevantes para a realidade da organização de químicos. Observa-se que o modelo não é estático e a partir de alguns determinantes que o pesquisador elenca como relevante, os custos com maior relevância podem ser descritos e estudados.

No entanto, para o sucesso da nuvem os investimentos em computação depende altamente de tomadas de decisão precisas e eficientes; as implicações das decisões de investimento precisam ser quantificáveis para permitir uma comparação de alternativas, tanto do ponto de vista do consumidor quanto do fornecedor [Heilig and Voss 2014]. O Custo Total de Propriedade (TCO) é o modelo de custeio mais adotado em ambos, pesquisa e prática [Strebel and Stage 2010], e foi definido como “um procedimento que fornece meios para determinar o valor econômico total de um investimento, incluindo as despesas de capital iniciais (CapEx) e as despesas operacionais (OpEx) ”.

### 3.6 Modelo de Referência

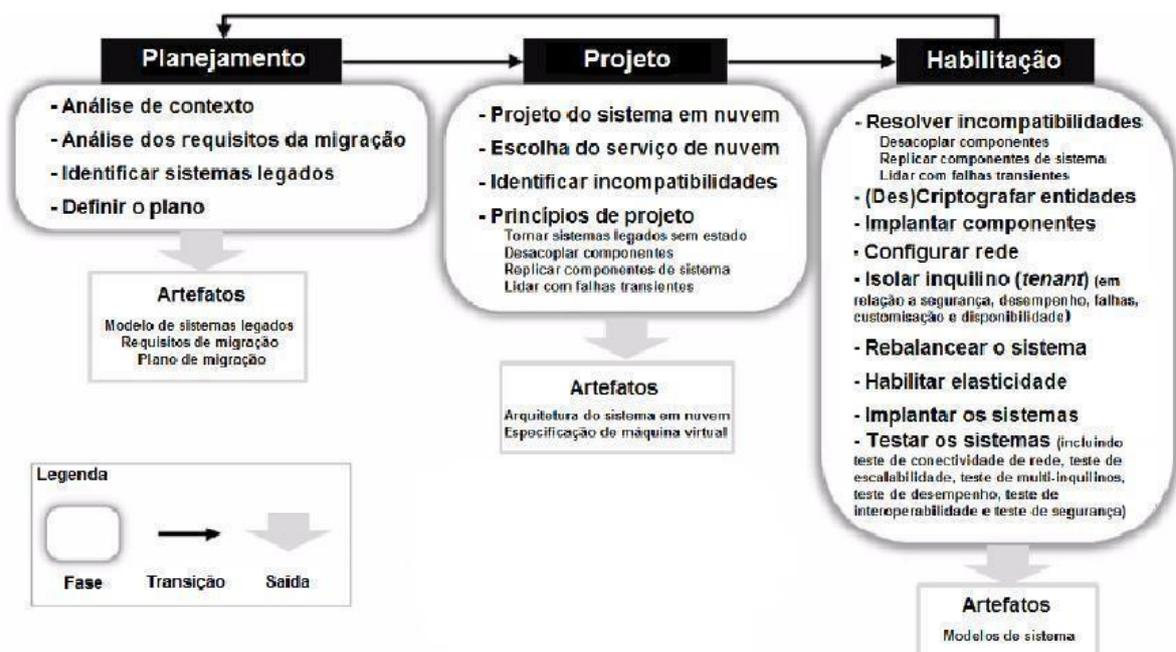
Em estudo, [Gholami et al. 2017] atenderam ao desafio de migrar sistemas legados para nuvem e trabalharam com o objetivo de descobrir as atividades críticas, os artefatos, as preocupações e as principais recomendações concernentes à migração de sistemas legados para a nuvem e os validaram empiricamente, com a coleta das percepções de especialistas da área para aumentar a confiabilidade dos resultados.

O trabalho dividiu-se em duas fases, cada uma empregando métodos qualitativos e quantitativos em diferentes formas. Na primeira fase, derivou-se um modelo de referência do processo de migração que mostra os elementos-chave relacionados. Na segunda fase, foram usados os resultados da pesquisa com especialistas em Computação em Nuvem para ilustrar como os vários itens identificados no modelo se comportam em cenários de migração de nuvem do mundo real e, portanto, fornecem uma descrição mais aprofundada desses elementos

A Figura 5 mostra um resumo do modelo de referência resultante para o processo de migração de sistemas legados para a Nuvem. Para simplificar a visualização, o resumo apresenta apenas os elementos-chave do modelo, sem as subdivisões das atividades em tarefas menores e sem o fluxo de informação entre elas.

Assim, o modelo de referência foi selecionado para servir de base às migrações de sistemas legados para a Nuvem. Ele foi escolhido por ter sido construído com o intuito de atender a diversos domínios de aplicação, ter sido validado por especialistas na área e por ter características que facilitam o seu uso, como as orientações acerca dos objetivos e detalhamento de cada atividade, sobressaindo-se aos outros modelos conceituais avaliados.

**Figura 5.** Modelo de referência de migração de sistemas legados para a nuvem



Fonte: Modelo proposto por [gholami et al. 2017]

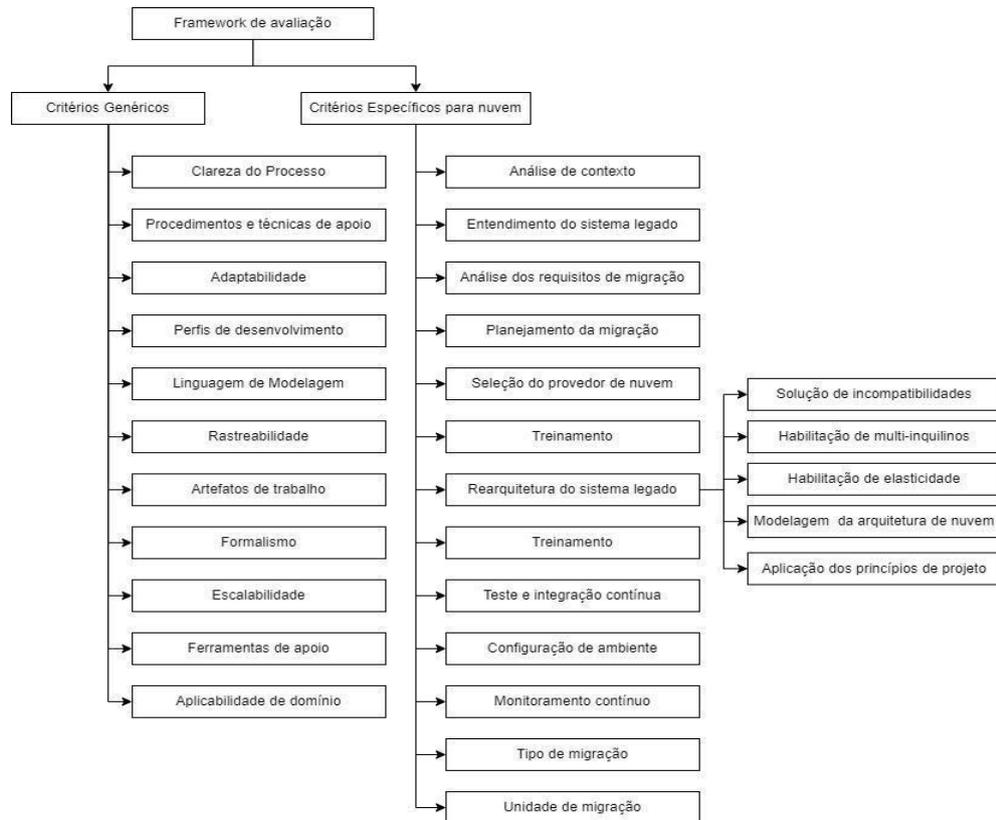
### 3.7 Modelo de Avaliação de Migração (MAM)

Cidres et al. 2020 fazem uma revisão sistemática da literatura com o intuito de fornecer uma revisão detalhada das abordagens de migração de nuvem existentes, partindo da perspectiva da modelagem de processo e baseando-se fortemente nas metodologias de desenvolvimento de software. Para esse fim, propõem um modelo de avaliação para comparar as abordagens existentes, destacando seus recursos, semelhanças e diferenças fundamentais. A abordagem utilizada pelos autores difere dos outros trabalhos relacionados, pois foca no aspecto do processo da migração da nuvem para entender quais atividades e preocupações essenciais estão envolvidas durante essa transição.

O modelo de avaliação da Figura 6 foi utilizado pelos autores para classificar os 43 artigos em relação ao nível de atendimento de cada um dos 28 critérios. Para a maioria dos critérios, utilizou-se uma escala de 3 níveis de atendimento: atende completamente, atende parcialmente e não atende. Alguns dos critérios classificam os artigos com respostas sim ou não e, em menor quantidade, há critérios que apenas coletam uma informação descritiva que caracteriza o artigo.

Como desafios para trabalhos futuros, [Cidres et al. 2020] reconhecem que há um grande volume de pesquisa em migração para a Nuvem que atualmente está dispersa e fragmentada, e sugerem ser necessária a definição de um modelo de referência genérico com o objetivo de consolidar a literatura existente. Afirmam que como a cada ano um número considerável de documentos de pesquisa é publicado no campo da Computação em Nuvem.

**Figura 6. Modelo de avaliação.**



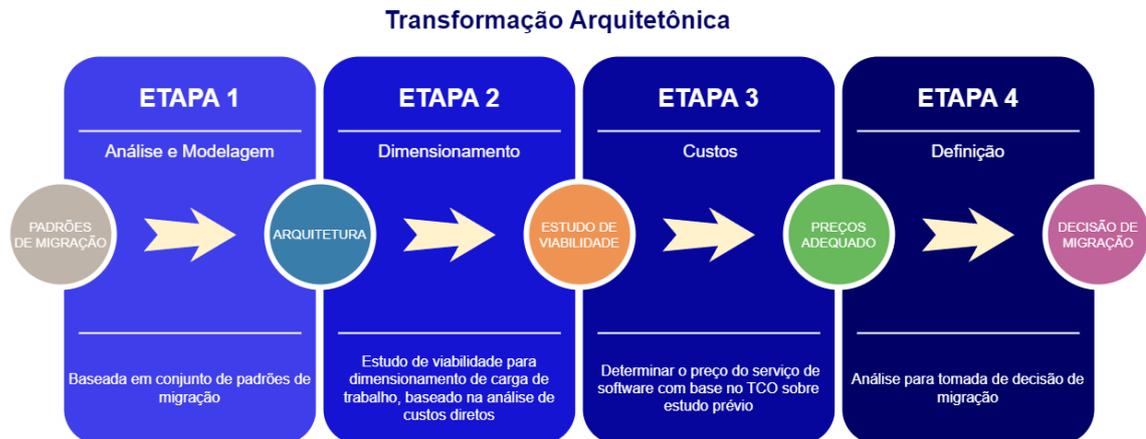
Fonte: Modelo proposto por [cidres et al. 2020]

#### 4. METODOLOGIA

Considerando a complexidade esperada em migração de sistemas legados para serviços em nuvem, uma abordagem que pode ser adotada é a divisão de fatores complexos em partes menores e bem definidas.

Sendo assim, este trabalho conduziu uma proposta (Figura 7) formada por quatro etapas: Análise e Modelagem, Dimensionamento, Custos e Definição.

**Figura 7.** Visão geral do modelo proposto.



O modelo proposto define etapas importantes para tomada de decisão para migração de sistemas legados para a nuvem. A Figura 7 representa o arcabouço baseado em uma arquitetura que considera o Custo Total de Propriedade.

Esta proposta concentra-se especificamente na migração de aplicações legadas para a nuvem. Além disso, o modelo precisa ser incrementado com um processo adicional de planejamento de migração de arquitetura, levando em consideração a métrica de unidade de serviço em nuvem. A estrutura proposta compreende cinco processos:

Uma migração de sistema legado para nuvem é organizada em torno de uma transformação arquitetônica do sistema legado, independentemente de considerações de custo e preço. Este trabalho propõe um processo integrado para planejamento de migração e preços a seguir:

- Etapa 1: Análise e modelagem - Utilizar um conjunto de padrões de migração para apoiar na migração para nuvem por meio de uma avaliação da arquitetura de rede do sistema legado;
- Etapa 2: Dimensionamento - conduzir um estudo de viabilidade para dimensionar a carga de trabalho prevista para um perfil de máquina (configuração), com base na análise de custos operacionais diretos impulsionados pelo uso previsto e números de consumo experimental;
- Etapa 3: Custos - Determinar o preço do serviço de software com base no Custo Total de Propriedade, cálculo gerado a partir do estudo energético, equipamentos, mão de obra, infraestrutura elétrica, refrigeração, serviços técnicos especializados, licenciamento de software, entre outros;

- Etapa 4: Definição - Análise para tomada de decisão de migração por meio de comparação entre os custos operacionais, de capital (aquisição) e Unidade de Serviço em Nuvem - USN.

O modelo de migração pode ser reutilizado em qualquer ambiente *on-premise* para nuvem tanto para refinamentos quanto para arquitetura e código.

#### 4.1 Análise e Modelagem

A primeira etapa do processo de migração de sistemas legados para ambientes em nuvem envolve a análise detalhada da arquitetura do sistema legado e a aplicação de padrões de migração adequados. Essa etapa é crucial para estabelecer as bases sólidas da migração, garantindo que a estrutura do sistema seja compatível com o ambiente em nuvem.

**Análise da Arquitetura do Sistema Legado:** Nesta fase, uma análise profunda da arquitetura do sistema legado é realizada. Isso inclui entender a relação entre os componentes, identificar os pontos críticos de comunicação e fluxo de dados e identificar possíveis gargalos de desempenho. A análise da arquitetura ajuda a determinar a complexidade da migração e a identificar as áreas que precisam ser tratadas de forma especial.

**Seleção de Padrões de Migração:** Com base na análise da arquitetura, são escolhidos os padrões de migração mais adequados. Isso pode envolver a escolha entre abordagens como "lift and shift", reescrita parcial ou completa, reestruturação e modernização. A escolha do padrão adequado impactará o esforço necessário na migração e também os custos associados.

**Relação com o Custo Total de Propriedade (TCO):** A análise detalhada da arquitetura do sistema legado e a seleção dos padrões de migração têm um impacto direto no TCO. Padrões mais complexos podem exigir mais esforço de migração e desenvolvimento, o que aumenta os custos de mão de obra e recursos. Além disso, a escolha inadequada de padrões pode resultar em problemas de desempenho pós-migração, levando a custos contínuos de otimização.

## 4.2 Dimensionamento

A segunda etapa do processo de migração visa determinar o dimensionamento adequado para a carga de trabalho na nuvem. O objetivo é garantir que a infraestrutura na nuvem seja capaz de suportar as demandas do sistema legado, ao mesmo tempo em que otimiza os custos operacionais.

**Estudo de Viabilidade de Carga de Trabalho:** Nesta etapa, a carga de trabalho prevista para o sistema legado é analisada. Isso inclui a estimativa do tráfego de rede, uso de CPU, necessidades de armazenamento e outras métricas relevantes. Com base nessas estimativas, é possível escolher as instâncias de máquinas virtuais na nuvem que melhor se adequam às necessidades do sistema.

**Análise de Custos Operacionais Diretos:** Ao dimensionar a carga de trabalho, é importante considerar os custos operacionais diretos na nuvem. Isso inclui custos associados a instâncias de máquinas virtuais, armazenamento, transferência de dados e outros serviços. A escolha das instâncias de máquinas virtuais e outros recursos deve levar em conta não apenas o desempenho, mas também os custos associados.

**Relação com o Custo Total de Propriedade (TCO):** A etapa de dimensionamento está intrinsecamente ligada ao TCO, pois as decisões tomadas aqui afetam diretamente os custos operacionais contínuos na nuvem. Uma escolha inadequada de instâncias de máquinas virtuais ou uma estimativa errada da carga de trabalho podem levar a custos excessivos de recursos na nuvem, impactando negativamente o TCO.

## 4.3 Custos

A terceira etapa do processo de migração é focada na determinação precisa do preço do serviço de software na nuvem com base no Custo Total de Propriedade (TCO). Isso envolve uma análise abrangente dos diferentes componentes que contribuem para o TCO.

**Cálculo do Custo Total de Propriedade (TCO):** O TCO inclui uma variedade de fatores, como consumo de energia, custos de infraestrutura, mão de obra, licenciamento de software e muito mais. Cada um desses componentes precisa

ser quantificado e somado para obter uma estimativa precisa do custo total de operação na nuvem.

**Estudo Energético e Infraestrutura:** A migração para a nuvem pode resultar em economias de energia, mas é importante quantificar essas economias com precisão. Isso requer uma análise detalhada do consumo energético tanto no ambiente local quanto na nuvem. Além disso, os custos associados à infraestrutura, como resfriamento e equipamentos, também devem ser considerados.

**Relação com o Custo Total de Propriedade (TCO):** A etapa de precificação está diretamente relacionada ao TCO, uma vez que o objetivo é determinar o preço do serviço de software na nuvem de modo a cobrir todos os custos associados à migração e operação. Uma análise precisa do TCO garante que o preço definido seja sustentável a longo prazo e não leve a surpresas desagradáveis em termos de custos operacionais.

Essas etapas são fundamentais para a migração bem-sucedida de sistemas legados para a nuvem, garantindo que os aspectos técnicos e financeiros sejam considerados de forma abrangente e estratégica. Cada etapa contribui para a minimização do Custo Total de Propriedade (TCO) ao longo do ciclo de vida da migração e operação na nuvem.

#### **4.4 Definição**

A quarta etapa do processo de migração de sistemas legados para ambientes em nuvem concentra-se na análise comparativa dos custos operacionais, de capital e da Unidade de Serviço em Nuvem (USN). Essa análise é crucial para tomar decisões informadas sobre a migração e escolher a abordagem que otimize tanto os recursos financeiros quanto técnicos.

No caso da Unidade de Serviço em Nuvem (USN), busca-se estabelecer como método previsível, linear e flexível para obtenção de uma quantidade objetivamente definida a ser cobrada pelos serviços de computação em nuvem. A métrica de USN consiste no estabelecimento de fator de referência específico para cada tipo de serviço de nuvem fornecido (fator da USN), conforme métrica individual associada ao consumo dos recursos ou esforços computacionais.

**Comparação de Custos Operacionais e de Capital:**

Nesta fase, os custos operacionais contínuos na nuvem são comparados com os custos de capital associados à aquisição, manutenção e operação do sistema legado no ambiente local. A análise deve levar em consideração aspectos como mão de obra, infraestrutura, licenciamento de software, manutenção e outros fatores relevantes.

**Avaliação da Unidade de Serviço em Nuvem (USN):**

A Unidade de Serviço em Nuvem (USN) é uma métrica que ajuda a comparar o custo de um serviço na nuvem com seu desempenho e recursos oferecidos. A análise da USN envolve quantificar o custo por unidade de desempenho ou capacidade, permitindo uma comparação objetiva entre diferentes opções de serviço na nuvem.

**Tomada de Decisão Informada:**

Com base na análise comparativa de custos operacionais, de capital e da USN, a equipe de migração e os stakeholders podem tomar decisões informadas sobre a abordagem de migração mais adequada. Isso inclui escolher entre manter o sistema legado no ambiente local, migrar totalmente para a nuvem ou adotar uma abordagem híbrida.

**Relação com o Custo Total de Propriedade (TCO):**

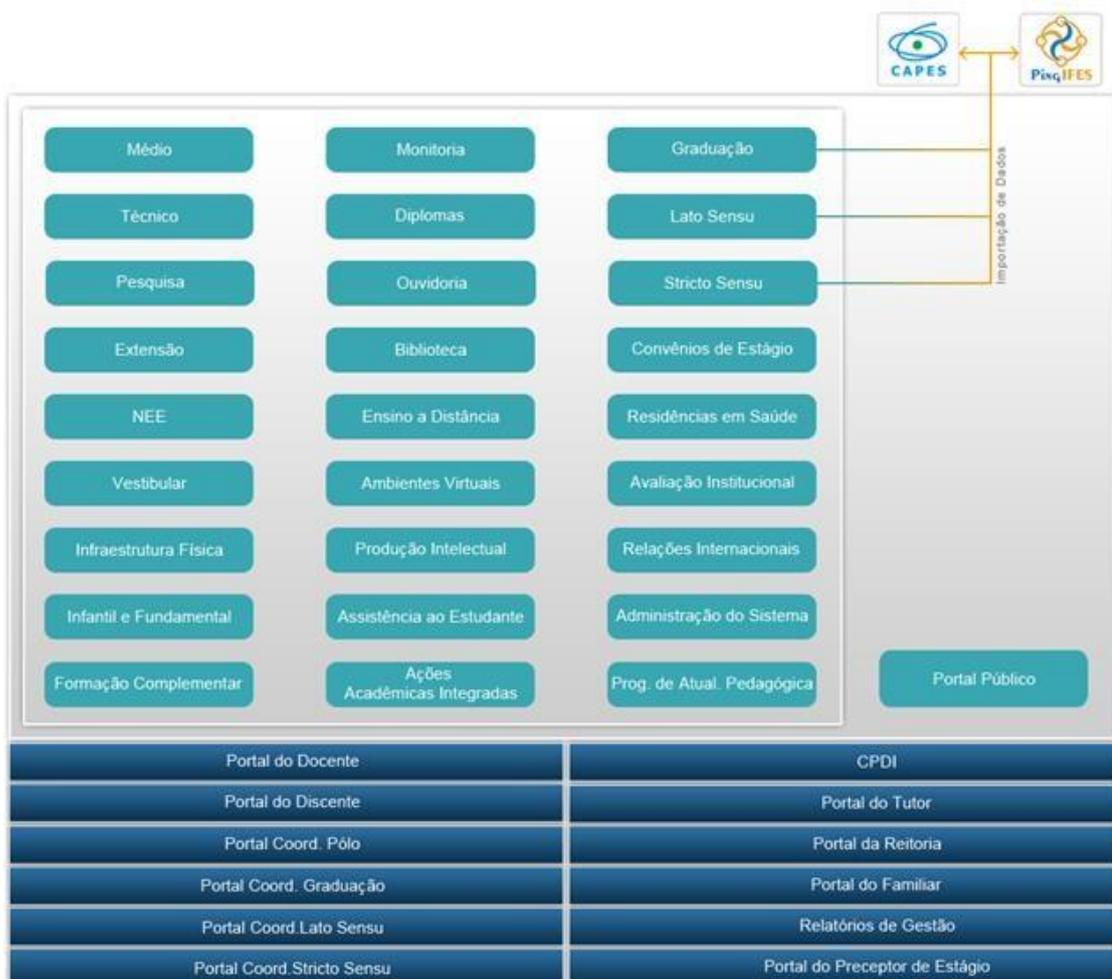
A análise para tomada de decisão está intrinsecamente relacionada ao TCO, pois seu objetivo é otimizar os custos totais ao longo do ciclo de vida da migração e operação. A escolha da abordagem de migração com base na análise de custos contribui diretamente para a redução do TCO ao longo do tempo.

A etapa de análise para tomada de decisão é fundamental para garantir que a migração para a nuvem seja uma escolha estratégica e financeiramente viável. A análise comparativa dos custos operacionais, de capital e da USN permite que as organizações escolham a abordagem que melhor atenda às suas necessidades e objetivos, ao mesmo tempo em que otimizam o Custo Total de Propriedade (TCO).

## 4.5 Estudo de Caso

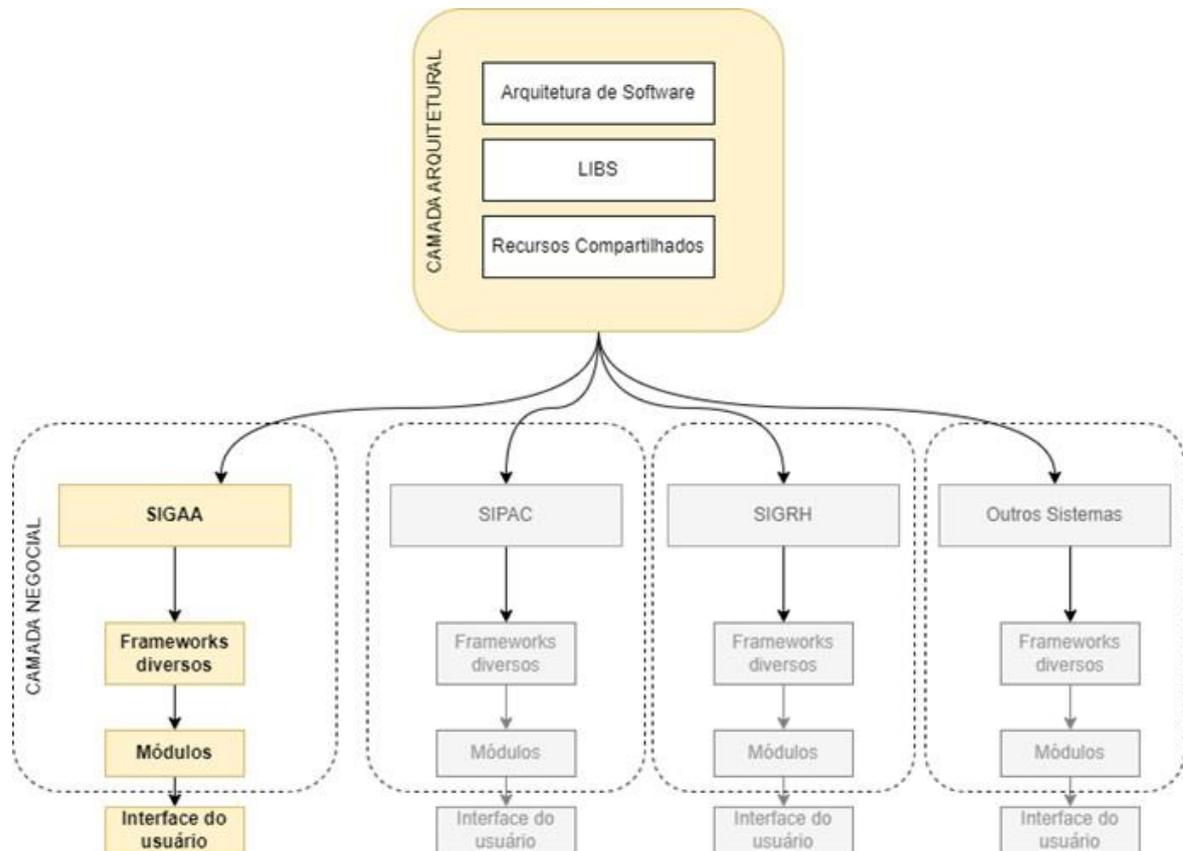
O modelo arquitetural lógico do Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA) é composto por diversos módulos (Figura 8) interconectados que abrangem as principais funcionalidades acadêmicas.

**Figura 8.** Principais módulos do sistema integrado de gestão de atividades acadêmicas.



A interconexão destes módulos é realizada a partir de uma arquitetura de software que permite não só a integração entre módulos, mas também entre sistemas administrativos (SIPAC, SIGRH e SIGADMIN) em uma estrutura complexa que abrange as mais diversas áreas da instituição. Em uma apresentação simplificada, as camadas lógicas que fazem parte dessa suíte de sistemas pode ser vista na Figura 9.

**Figura 9.** Camadas lógicas do sigaa.



A interface do usuário oferece navegabilidade em um painel intuitivo para os usuários acessarem as funcionalidades do SIGAA. Logo em seguida, a camada negocial gerencia as regras de negócio e lógica do sistema e estão encapsuladas em cada sistema da suíte. Todos os módulos são amparados por uma camada não ilustrada que é responsável pela persistência de dados, que armazena as informações acadêmicas de forma segura, garantindo a integridade dos dados.

O SIGAA possui integração com outros sistemas facilitada por meio de Interfaces de Programação de Aplicativos - APIs que foram construídas para maioria dos módulos - perfazendo assim - uma solução abrangente e eficiente para o gerenciamento de atividades acadêmicas em instituições de ensino superior.

A construção do sistema em camadas, compostas por vários meios de integração internos e externos, permite uma separação clara das funcionalidades e das responsabilidades de cada módulo. Essa abordagem facilita a manutenção, a

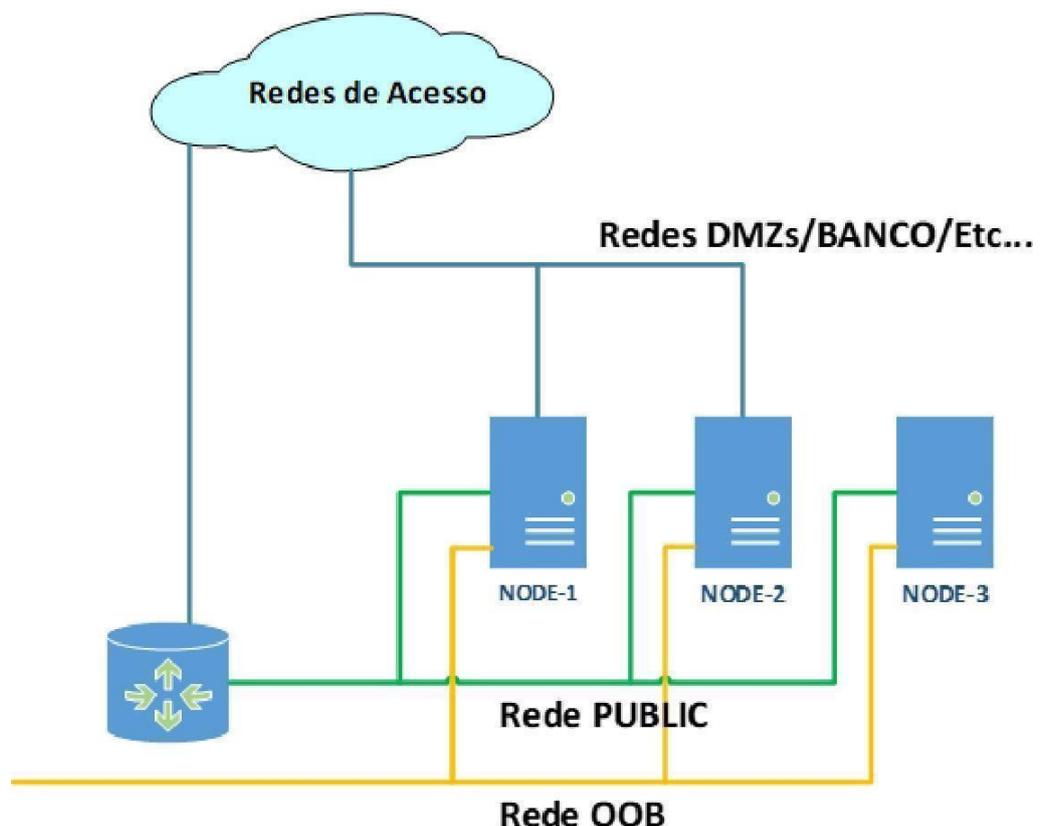
escalabilidade e a evolução do sistema, além de garantir uma melhor organização e eficiência no desenvolvimento das diferentes partes do SIGAA.

### Aplicação da etapa 1 - Análise e Modelagem

O estudo de caso para validar o modelo proposto, na etapa de análise e modelagem (ETAPA 1, Figura 7), é composto por uma rede OoB (*Out-of-Band* ou Rede Fora de Banda), onde o acesso é apenas para gerência dos servidores computacionais, uma rede pública com todos os endpoints do openstack e uma rede de serviços contendo uma Zona Desmilitarizada - DMZ, Banco de Dados, Sistemas, etc.

A Figura 10 demonstra a arquitetura atual do SIGAA em ambiente *on-premise* enquanto a Tabela 3 demonstra todas as instâncias do *openstack* (*Hipervisores*), permitindo alocação de recursos (rede, storage, balanceamento de carga, memória, etc) diretamente para a solução de container, favorecendo questões como escalabilidade e *deploy* facilitado do sistema legado como um todo.

**Figura 10.** Topologia simplificada da arquitetura



**Tabela 3.** Todos os hipervisores

Hostname	vCPUs (used)	vCPUs (total)	RAM (used)	RAM (total)	Storage (used)	Storage (total)	Instances
NODE-1	46	80	116.5 GB	188.9 GB	12 GB	411 GB	5
NODE-2	50	80	168.5 GB	251.9 GB	16 GB	273 GB	5
NODE-3	50	80	164.5 GB	251.9 GB	16 GB	273 GB	5

### Aplicação da etapa 2 - Dimensionamento

Conforme o modelo proposto neste documento, na etapa de dimensionamento (ETAPA 2, Figura 7), para os SIGs foram criadas 10 instâncias do openstack, conforme a Tabela 4. Instâncias podem ser consideradas como Máquinas Virtuais (VM) dentro do contexto da nuvem, ou seja, são VM's temporárias criadas para aquele propósito, podendo ser criadas ou destruídas de acordo com as necessidades de uso e carga do sistema.

**Tabela 4.** Instâncias *kubernetes* - sigs

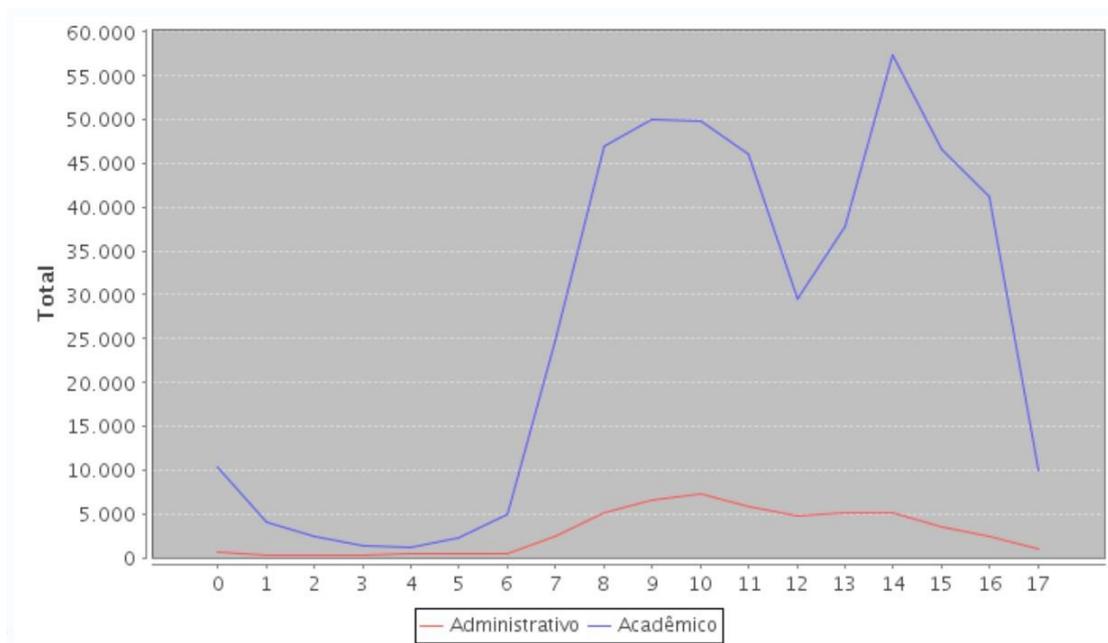
Instance Name	vCPUs	Disk (GB)	RAM (GB)
kubernetes-0	8	60	16
kubernetes-1	16	250	48
kubernetes-2	16	250	48
kubernetes-3	16	250	48
kubernetes-4	16	250	48
kubernetes-5	10	250	42
kubernetes-6	10	250	42
kubernetes-7	12	250	48
kubernetes-8	12	250	48
kubernetes-9	4	40	8

No cluster *kubernetes* estão as instâncias dos SIGS, que são criadas de acordo com a sazonalidade. Por exemplo, durante o período de matrícula de alunos em cursos de graduação e pós-graduação existe a necessidade de mais instâncias, então basta criar mais containers (realocar recursos temporários) para o sistema.

Dessa forma, foi criada uma infraestrutura especializada em rodar instâncias dos SIGs (*Openstack + Kubernetes*), sendo que a persistência dos dados (Banco de Dados) fica separada em uma infraestrutura dedicada de maior robustez, e menos suscetível a falhas dada a sua criticidade.

Outra característica da solução é ser independente e portátil, pois não existe necessidade de um hardware específico, ou ainda de software de virtualização proprietário, da mesma forma que caso se deseje migrar para outros ambientes é totalmente possível, como nuvem pública (AWS, Microsoft Azure, GCP, etc), e ambientes puramente virtualizados (*Vmware, KVM, XEN, etc.*), pois os containers são altamente portáteis.

**Figura 11.** Número de requisições/dia sigaa.



A Figura 11 demonstra a carga de trabalho do sistema durante o período de 1 (um) dia para compor o estudo de viabilidade técnica de instâncias em nuvem e comparar com o investimento em infraestrutura de datacenter local (*on-premise*) que se repete em dias úteis, semanas e por um período de 1 (um) ano.

### Aplicação da etapa 3 - Custos

Nesta etapa (ETAPA 3, Figura 7), aplicou-se o método de cálculo de Custo Total de Propriedade tanto para o datacenter (*on-premise*), considerando os custos de energia, equipamentos, manutenção, mão de obra e licenciamento de software, quanto para a migração do sistema legado para nuvem.

Para o levantamento de custos associados ao ambiente computacional em nuvem, adotou-se a métrica de Unidade de Serviço de Computação em Nuvem (USN) para os serviços de computação e métricas específicas lastreadas em elementos de custos associados diretamente à prestação dos serviços, como no caso das instâncias gerenciadas e migradas.

O fator da USN que é utilizado é composto pela média aritmética simples dos valores praticados por diferentes provedores (*Amazon AWS, Microsoft Azure e Google Platform Cloud*). Essa métrica visou padronizar o peso entre os serviços em termos de custo operacional, logo utilizou-se como referência os valores praticados pelos provedores em dólar na região de hospedagem referente ao Brasil.

Ressalta-se que esse fator (USN) é um valor adimensional que diferencia o peso de um recurso/serviço frente aos demais constantes no catálogo de USN. Logo, não se deve confundir essa medida de esforço computacional, que representa os recursos envolvidos para a prestação do serviço, com os valores para cada unidade de USN, que será ofertado em reais (R\$) pelo broker ou integrador.

A solução de uso dos recursos de computação em nuvem consiste na contratação de broker para prestação dos serviços de intermediação, agregação e arbitragem dos serviços ofertados por diferentes provedores de computação em nuvem.

Neste modelo de prestação de serviços observou-se a estratégia de pagamento pelo uso dos serviços, bem como a revisão da arquitetura das soluções e serviços para adequação a este paradigma.

## Aplicação da etapa 4 - Definição

Nesta etapa de definição (ETAPA 4, Figura 7), os elementos de custos associados a ambiente on-premise são comparados com elementos de custos em nuvem por meio do fator USN determinado na etapa 3, para tomada de decisão de migração do sistema legado de forma holística ou híbrida, para ambiente computacional em nuvem.

No contexto do sistema legado SIGAA, foram coletados dados em diferentes equipamentos (servidores computacionais, armazenamento e rede) em elementos de custos associados direta e indiretamente ( quantidade de racks, consumo e perda de energia, percentual de utilização, alocação de espaço, aquisição de equipamentos, infraestrutura elétrica e refrigeração, serviços técnicos especializados, licenciamento de software, dentre outros) por um período de custo total de propriedade ao longo de 5 (cinco) anos.

Considerando as nuances de cada elemento da etapa Definição, o capítulo 5 (Resultados e Discussões) apresenta o detalhamento desses elementos para fins de discussão para a tomada de decisão de migração de sistema legado para ambiente computacional em nuvem.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O uso de TCO e precificação de serviço em nuvem do tipo dinâmica, por meio do fator USN, perfazem excelentes elementos de apoio em todo o processo de migração de sistemas legados para serviços em nuvem, seja para serviços sob demanda ou instâncias reservadas.

Considerou-se para efeitos de identificação da etapa de custos e definição, os recursos IaaS e PaaS a serem demandados em comum em relação à solução *on-premises*. A memória de cálculo contendo todas as fontes primárias de para obtenção dos resultados está disponível no Anexo A.

A Tabela 5 fornece dados sobre o consumo de energia dos diferentes componentes do sistema legado, incluindo servidores computacionais, armazenamento (*storage*), *backup* de armazenamento e rede de dados. Os custos anuais de energia são calculados para cada componente. Ao migrar para a nuvem,

parte desse consumo de energia pode ser reduzido, uma vez que a infraestrutura de nuvem é compartilhada entre vários usuários, o que pode levar a economias significativas de energia.

**Tabela 5.** Custo energia- datacenter.

ID	ELEM. DE CUSTO	SERVIDORES	STORAGE	STORAGE BKP	REDE	TOTAL
A	Qtd. Racks	4	1	1	1	7
B	% Distribuição	70%	10%	10%	10%	100%
C	U por Rack	42	42	42	42	-
D	% de Utilização	3%	30%	30%	76%	
E	Qtd. de U Alocados	5	13	13	32	63
F	Consumo por U alocado (W)	385	200	50	150	175
G	Consumo por Rack (kW/Rack)	0.05	0.06	0.02	0.11	
H	Consumo de Carga de TI (kW)	0.2	0.06	0.02	0.11	0.4
I	Consumo Carga UPS (kW)	0.2	0.06	0.02	0.11	0.4
J	Consumo Refrigeração (kW)	0.12	0.04	0.01	0.07	0.24
K	Perda de Energia (kW)	0.06	0.02	0.01	0.04	0.13
L	Consumo Total (kW)	0.37	0.12	0.03	0.23	0.75
M	Consumo Anual (M kWh/ano)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
N	Custo Anual Energia (R\$ / ano)	R\$1.757,49	R\$570,61	R\$142,65	R\$1.084,17	R\$3.554,93

A Tabela 6 apresenta os custos dos equipamentos de TI necessários para o sistema legado. Os valores representam os custos por unidade (U) e os custos totais dos equipamentos. Ao migrar para a nuvem, parte desses custos de equipamentos pode ser reduzida, uma vez que a infraestrutura de nuvem é fornecida pelo provedor de serviços, eliminando a necessidade de aquisição e manutenção de servidores e storage físicos.

**Tabela 6.** Custo equipamentos de ti- datacenter

EQUIPAMENTOS DE TI						
ID	ELEMENTO DE DESPESA	SERVIDORES	STORAGE	STORAGE BKP	REDE	TOTAL
		R\$29,299.00		R\$52,999.50	R\$67,348.00	
O	Custo por U	0	R\$5,299.50	0	00	
P	Custo Total do Equipamento	R\$234.392,00	R\$635.994,00	R\$635.994,00	R\$67.348,00	R\$1.573.728,00

Os custos anuais de manutenção da infraestrutura elétrica e de refrigeração, incluindo a Fonte de Alimentação Ininterrupta (*Uninterruptible Power Supply ou UPS*), motores geradores e ar-condicionado, são fornecidos na Tabela 7.

Ao migrar para a nuvem, parte desses custos podem ser eliminados, pois a infraestrutura em nuvem é mantida pelo provedor de serviços, reduzindo os custos de manutenção e atualizações de infraestrutura física.

**Tabela 7.** Custo infraestrutura elétrica e refrigeração

INFRAESTRUTURA ELÉTRICA/REFRIGERAÇÃO						
ID	ELEMENTO DE DESPESA	SERVIDORES	STORAGE	STORAGE BKP	REDE	TOTAL
Q	Custo Manutenção UPS Anual	-	-	-	-	R\$7.345,50
R	Custo Manutenção Motor Gerador Anual	-	-	-	-	R\$2.199,75
S	Custo Manutenção Ar-Condicionado Anual	-	-	-	-	R\$231.000,00
T	Custo Total Manutenção Infraestrutura	-	-	-	-	R\$240.545,25

A Tabela 8 apresenta os custos anuais dos serviços técnicos relacionados ao sistema legado, como operações de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), gerenciamento do ambiente do *datacenter*, manutenção e segurança da informação. Ao migrar para a nuvem, algumas dessas responsabilidades de gerenciamento e manutenção são assumidas pelo provedor de serviços em nuvem, o que pode reduzir os custos associados a esse elemento de despesa.

**Tabela 8.** Custo serviços técnicos especializados.

<b>SERVIÇOS TÉCNICOS</b>						
<b>ID</b>	<b>ELEMENTO DE DESPESA</b>	<b>SERVIDORES</b>	<b>STORAGE</b>	<b>STORAGE BKP</b>	<b>REDE</b>	<b>TOTAL</b>
U	Operações de TIC	-	-	-	-	R\$405.000,00
V	Gerenciamento Ambiente Datacenter	-	-	-	-	R\$405.000,00
W	Manutenção Datacenter	-	-	-	-	R\$432.000,00
X	Segurança	-	-	-	-	R\$243.000,00
Y	Custo Total Serviços Técnicos	-	-	-	-	R\$1.485.000,00

A Tabela 9 apresenta os custos de licenciamento de software para virtualização, sistemas operacionais, monitoramento e banco de dados. Ao migrar para a nuvem, parte desses custos de licenciamento pode ser reduzida, uma vez que alguns provedores de serviços em nuvem oferecem opções de licenciamento incluídas nos serviços contratados como SaaS.

**Tabela 9.** Custo licenciamento de software.

<b>LICENCIAMENTO DE SOFTWARE</b>						
<b>ID</b>	<b>ELEMENTO DE DESPESA</b>	<b>SERVIDORES</b>	<b>STORAGE</b>	<b>STORAGE BKP</b>	<b>REDE</b>	<b>TOTAL</b>
Z	Virtualização	R\$103.676,72	R\$131.692,08	R\$131.692,08	-	R\$367.060,88
AA	Sistemas Operacionais	R\$6.987,85	-	-	-	R\$6.987,85
AB	Monitoramento	R\$3.211,30	-	-	-	R\$3.211,30
AC	Banco de Dados	R\$5.786,80	-	-	-	R\$5.786,80
AD	Custo Total de Software	-	-	-	-	R\$383.046,83

**Tabela 10.** Custo total de propriedade.

<b>CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE</b>					
<b>Descrição</b>	<b>Ano 1</b>	<b>Ano 2</b>	<b>Ano 3</b>	<b>Ano 4</b>	<b>Ano 5</b>
Consumo de Energia	R\$3.554,93	R\$3.554,93	R\$3.554,93	R\$3.554,93	R\$3.554,93
Equipamento de TI	R\$1.573.728,00	-	-	-	-
Manutenção Infra Elétrica/Energia	R\$240.545,25	R\$240.545,25	R\$240.545,25	R\$240.545,25	R\$240.545,25
Serviços Técnicos	R\$1.485.000,00	R\$1.485.000,00	R\$1.850,00	R\$1.485,00	R\$1.485.000,00
Softwares	R\$383.046,83	-	R\$5.786,80	R\$377.260,03	R\$5.786,80
	R\$3.685.875,01	R\$1.729.100,17	R\$1.734.886,975	R\$2.106.360,205	R\$1.734.886,975
				<b>Total</b>	<b>R\$10.991.109,34</b>

A Tabela 10 demonstra o custo total de propriedade ao longo de 5 anos de investimento para manutenção e sustentação de infraestrutura, totalizando um valor global de investimento de **R\$ 10.991.109,34** milhões de reais. Ao comparar os custos apresentados com a migração de sistemas legados para a nuvem, é possível identificar potenciais economias de custos. A migração para a nuvem pode reduzir os custos de infraestrutura, energia, manutenção, licenciamento de software e serviços técnicos, uma vez que essas responsabilidades são assumidas pelo provedor de serviços em nuvem. No entanto, é importante considerar outros fatores indiretos, como custos de migração, treinamento da equipe e segurança, ao avaliar o TCO da migração para a nuvem.

A Tabela 11 demonstra o mesmo cenário sendo implementado em ambiente computacional em nuvem utilizando o fator USN (Tabela 12), usando o cálculo de instâncias baseadas em templates pré-definidos na Etapa de Dimensionamento (ETAPA 2, Figura 7) do sistema legado.

**Tabela 11.** Templates de precificação em nuvem.

Hostname	Serviços	S.O.	Distribuição	CORE	MEM (GB)	HD S.O.	HD DB/APP	Templates
sigaa-01	Aplicação SIGAA - Instância 01	Linux	Ubuntu	8	48	250	250	A7 HDD (8 Cores, 56Gb RAM, 605Gb)
sigaa-02	Aplicação SIGAA - Instância 02	Linux	Ubuntu	10	48	250	250	D5 V2 SSD (16 Cores, 56Gb RAM, 800Gb)
sigaa-03	Aplicação SIGAA - Instância 03	Linux	Ubuntu	12	48	250	250	D5 V2 SSD (16 Cores, 56Gb RAM, 800Gb)
sigaa-04	Aplicação SIGAA - Instância 04	Linux	Ubuntu	16	48	250	250	D5 V2 SSD (16 Cores, 56Gb RAM, 800Gb)

**Tabela 12.** Custo total de propriedade nuvem/ano

<b>ID</b>	<b>Recursos de Computação</b>	<b>Fator USN</b>	<b>Quantidade e Estimada</b>	<b>Custo Anual Estimado</b>
1	Máquina Virtual - provisionado 8 vCPU e 32 GB de memória RAM, reservado por 1 ano	0.41013 3	4	R\$14,371.06
2	Máquina Virtual - provisionado 8 vCPU e 32 GB de memória RAM, por demanda	0.56576 7	8	R\$39,648.95
3	Máquina Virtual - provisionado 16 vCPU e 64 GB de memória RAM, por demanda	1.43251 7	4	R\$50,195.40
4	Serviço de armazenamento de blocos (SSD)	0.24088 3	4	R\$8,440.54
5	Serviço de armazenamento de blocos (HDD)	0.06535 2	4	R\$2,289.93
6	Tráfego de saída da rede	0.11666 7	4	R\$4,088.01
7	Tráfego de rede interna entre zonas	0.01	4	R\$350.40
8	Tráfego de rede do balanceador de carga	0.0342	4	R\$1,198.37
9	Serviço de balanceamento de carga	0.02636	4	R\$923.65
10	Serviço de balanceamento de carga utilizando gerenciador de tráfego DNS	0.57	4	R\$19,972.80
11	Porta de conexão de fibra 1Gbps	0.50398 3	4	R\$17,659.56
12	Serviço de Gerenciamento de Banco de Dados SQLServer com 4 vCPU e 16 GB de memória RAM	1.29801	4	R\$45,482.27
13	Armazenamento de Banco de Dados SQLServer	0.24832 5	4	R\$8,701.31
			<b>TOTAL</b>	R\$213,322.2 6

A Tabela 12 apresenta uma lista de recursos de computação e serviços em nuvem, juntamente com seus respectivos fatores USN, quantidades estimadas e custos anuais estimados, bem como os custos enviados durante 5 anos (Tabela 13).

**Tabela 13.** Custo total de propriedade 5 anos.

<b>CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE</b>					
	<b>Ano 1</b>	<b>Ano 2</b>	<b>Ano 3</b>	<b>Ano 4</b>	<b>Ano 5</b>
Cloud Broker	R\$213,322.26	R\$226,121.59	R\$239,688.89	R\$254,070.22	R\$269,314.44
				<b>TOTAL</b>	R\$1,202,517.40

Ao comparar os custos envolvidos direto e indiretamente, houve redução de **89%** em relação ao custo total de propriedade de investimento em ambiente *on-premise* no que concerne à adoção de migração para ambiente de nuvem. A migração para a nuvem oferece vantagens em termos de custo total de propriedade, especialmente em relação à redução de investimentos iniciais, flexibilidade de dimensionamento, menor carga operacional e custos de manutenção reduzidos.

Observa-se um cenário antes obscurecido por altos custos operacionais e despesas. Revelou-se agora como um exemplo comprovado de eficiência financeira. A migração audaciosa de um arcaico sistema *on-premise* para a nuvem trouxe uma redução de custos que ressoa como um triunfo econômico. Os números falam por si: uma diminuição drástica nas despesas de infraestrutura, manutenção, mão de obra e licenciamento de software que, somados, perfazem uma economia significativa.

Em uma era em que cada centavo conta, essas economias não são apenas cifras abstratas, mas sim a preservação valiosa dos recursos públicos. Cada moeda economizada é um investimento no futuro, um esforço para otimizar o valor do dinheiro do cidadão e garantir que ele seja direcionado para onde mais importa. Em uma instituição de ensino superior pública, onde os recursos frequentemente estão em demanda escassa e as oportunidades de financiamento são rigorosamente avaliadas, esse sucesso econômico é como uma bússola que aponta para uma gestão sustentável.

Para uma universidade pública que aspira a fazer mais com menos, essa drástica redução de custos é uma vitória notável. Essa mudança não é apenas um exemplo de migração tecnológica; é um manifesto tangível de compromisso com a eficiência, transparência e responsabilidade financeira. Cada centavo economizado é um passo em direção a uma utilização mais inteligente dos recursos limitados,

proporcionando mais oportunidades educacionais, pesquisa e inovação, e assegurando um futuro promissor para a próxima geração.

## **6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS**

### **6.1 Conclusão**

Este trabalho demonstra que há uma necessidade de uma perspectiva integrada acomodando arquitetura e custo, a fim de fornecer uma base clara para os preços e receitas dos serviços, e que as abordagens tradicionais de TCO não podem ser aplicadas sem adaptação, conforme modelo aqui proposto.

Embora este trabalho se concentre no TCO aplicado à migração de sistemas legados para nuvem, a mesma necessidade de adaptação se aplica a outras metodologias de avaliação de custos. Como tal, elas apresentam caminhos adicionais para o futuro da pesquisa. Destaca-se a necessidade multidisciplinar de colaboração entre empresas, órgãos públicos e pesquisadores. À medida em que as empresas se tornam mais e mais dependentes da computação em nuvem, tal colaboração é essencial para fornecer uma ampla compreensão das implicações financeiras da adoção de software específico para arquiteturas no contexto da computação em nuvem. Isso provavelmente requer não apenas adaptação em metodologias comuns de custeio baseadas em atividades e recursos, mas também em software e design de sistemas.

Nesse sentido, a centralização da aquisição de Serviços em Nuvem possui um significativo potencial de redução de custos administrativos e de redução do valor unitário das licenças aplicadas à tecnologia por meio do potencial ganho de escala em função da quantidade de licenças previstas.

Além do potencial de economia, o uso de computação em nuvem padroniza as especificações dos produtos com vistas a estabelecer um padrão de qualidade e desonera as instituições de alocar recursos humanos na especificação por destes, bem como na realização de processos licitatórios, no contexto do serviço público, onerosos para uso de infraestrutura superdimensionada.

## 6.2 Limitações e Trabalhos Futuros

Como desafios para trabalhos futuros, há um grande volume de pesquisa em migração de sistemas legados para a Nuvem que atualmente está dispersa e fragmentada, e surge a necessidade de definição de uma metodologia de referência genérica com o objetivo de consolidar a literatura existente, bem como a necessidade de criação de um método capaz de avaliar, por meio de critérios automáticos entre diferentes brokers de nuvem e datacenters *on-premises*, o quão sustentável é a migração de sistemas legados para nuvem, bem como o impacto para o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável do planeta.

## 6.3 Produções Científicas

*Total Cost of Ownership Applied to the Migration of Legacy Systems to Cloud Computing Environment - 22nd International Conference on Computer and Information Technology (CIT-2023).*

## REFERÊNCIAS

A. Iosup, S. Ostermann, M. Y. R. P. T. and Epema, D. (2011). Performance analysis of cloud computing services for many-tasks scientific computing. pages 931–945–40.

Abreu, Adolfo Gomes de: “Vantagens e desvantagens do uso da computação em nuvem na experimentação de novas aplicações empresariais”, 2023. <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/34024?show=full>, Acesso em 2023-08-22

Ahmad, A. and Ali Babar, M. (2014). A framework for architecture-driven migration of legacy systems to cloud-enabled software.

Alonso, J., Orue-Echevarria Arrieta, L., Escalante, M., Gorrionogitia, J., and Presenza, D. (2013). Cloud modernization assessment framework: Analyzing the impact of a potential migration to cloud. pages 64–73.

Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., and Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Commun. ACM*, 53:50–58.

Azure, Microsoft: Microsoft azure linux virtual machines pricing, 2023. <http://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/virtual-machines/linux/>, acesso em 2023-07-27.

Babar, M. A. and Chauhan, M. A. (2011). A tale of migration to cloud computing for sharing experiences and observations. In *Proceeding of the 2nd international workshop on Software engineering for cloud computing - SECCLOUD '11*. ACM Press.

Barroso, Luiz André, Jimmy Clidaras e Urs Hölzle: *The Datacenter as a Computer: An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines*, Second Edition. Morgan & Claypool Publishers, 2013, ISBN 9781627050104. 11

Bennett, K. (1995). Legacy systems: coping with success. *IEEE Software*, 12(1):19–23.

Binz, T., Leymann, F., and Schumm, D. (2011). CMotion: A Framework for Migration of Applications into and between Clouds. In *2011 IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications (SOCA)*. IEEE Computer Society.

Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J., and Brandić, I. (2009). Cloud computing and emerging it platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Gener. Comput. Syst.*, 25:599–616.

Chaisiri, Sivadon, Rakpong Kaewpuang, Bu Sung Lee e Dusit Niyato: Cost minimization for provisioning virtual servers in amazon elastic compute cloud. Em *2011 IEEE 19th International Symposium on Modeling, Analysis & Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS)*, Singapore, Singapore, 2013. IEEE. 20

Cidres, E., Vasconcelos, A., and Leitão, F. (2020). Cloud calculator: A cloud assessment tool for the public administration. In The 21st Annual International Conference on Digital Government Research. ACM.

Degraeve, Z. and Roodhooft, F. (1999). Improving the efficiency of the purchasing process using total cost of ownership information: The case of heating electrodes at cockerill sambre s.a. *European Journal of Operational Research*, 112(1):42–53.

Duan, Yucong, Guohua Fu, Nianjun Zhou, Xiaobing Sun, Nanjangud Narendra e Bo Hu: Everything as a service (xaas) on the cloud: Origins, current and future trends. Em 2015 IEEE 8th International Conference on Cloud Computing, páginas 621–628, 2015.12

Erlikh, L. (2000). Leveraging legacy system dollars for e-business. *IT Professional*, 2(3):17–23. Fahmideh, M., Low, G., Beydoun, G., and Daneshgar, F. (2016). Cloud migration process— a survey, evaluation framework, and open challenges. *Journal of Systems and Software*, 120.

Fowler, Martin: Serverless architectures, 2018. <https://martinfowler.com/articles/serverless.html>, acesso em 2023-08-21. 12

Frey, S. and Hasselbring, W. (2011). The cloudmig approach: Model-based migration of software systems to cloud-optimized applications. *International Journal on Advances in Software*, 4.

Garibel: “Qual é a diferença entre nuvem pública e nuvem comunidade”, 2023.

Gholami, M. F., Daneshgar, F., Beydoun, G., and Rabhi, F. (2017). Challenges in migrating legacy software systems to the cloud — an empirical study. *Information Systems*, 67:100–113.

H, S. (2020). Impact analysis of legacy system migration to the cloud environment: A focused study. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(1):134–141.

Hajjat, M., Sun, X., Sung, Y.-W. E., Maltz, D., Rao, S., Sripanidkulchai, K., and Tawarmalani, M. (2010). Cloudward bound. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 40(4):243–254.

Heilig, L. and Voss, S. (2014). Decision Analytics for Cloud Computing: A Classification and Literature Review, pages 1–26.

Herbst, N., Kounev, S., and Reussner, R. (2013). Elasticity in cloud computing: What it is, and what it is not. *International Conference on Autonomic Computing*, pages 23–27.

Holland, C., Light, B., and Gibson, N. (1999). A critical success factors model for enterprise resource planning implementation. pages 273–287.

<https://old.enjaysystems.com/edu/qual-e-a-diferenca-entre-nuvem-publica-e-nuvem-comunidade.html>, acesso em 2023-07-28.

IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems.

Jamshidi, P., Ahmad, A., and Pahl, C. (2014). Cloud migration research: A systematic review. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 1:142 – 157.

Mallya, S. (2011). Migrate your application to cloud: Practical top 10 checklist.

Mell, P. M. and Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing. Technical

Mohagheghi, P. and Sæther, T. (2011). Software engineering challenges for migration to the service cloud paradigm: Ongoing work in the remics project. 2011 IEEE World Congress on Services, pages 507–514.

Mohagheghi, P. and Sæther, T. (2011). Software engineering challenges for migration to the service cloud paradigm: Ongoing work in the remics project. pages 507 – 514.

Narahari, Y, C Raju, K Ravikumar e S Shah: Dynamic pricing models for electronic business. *Sadhana Academy Proceedings In Engineering Sciences*, 30:231–256, April 2005. 10, 19

Platform, Google Cloud: Google preemptible vm instances, 2023. <http://cloud.google.com/compute/docs/instances/preemptible>, acesso em 2023-08-22. 19.

Razavian, M. and Lago, P. (2015). A systematic literature review on soa migration. *Journal of Software: Evolution and Process*, 27.

report.

Riggs, D. A. and Robbins, S. L. (1998). The executive's Foster, Ian, Yong Zhao, I. Raicu e S. Lu: Cloud computing and grid computing 360- degree compared. Em *Grid Computing Environments Workshop*, Austin, TX, USA, 2008. IEEE. 1, 7, 8

Robson: “IaaS, PaaS e SaaS.. Qual a diferença?”, 2017. <https://www.lambda3.com.br/2017/08/iaas-paas-e-saas-qual-a-diferenca/>, acesso em 2023-07-28.

Services, Amazon Web: Amazon ec2 pricing, 2023. <http://aws.amazon.com/ec2/pricing/>, acesso em 2023-07-23. 21

Shastri, Supreeth, Amr Rizk e David Irwin: Transient guarantees: Maximizing the value of idle cloud capacity. Em *SC'16: Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*, Salt Lake City, UT, USA, 2016. IEEE. 19, 20

Strebel, J. and Stage, A. (2010). An economic decision model for business software application deployment on hybrid cloud environments

UFMA, S. Sistemas web.

Varian, Hal R.: *Intermediate Microeconomics: A Modern Approach*. W. W. Norton & Company, 2014, ISBN 978-0393935332. 17

Vasconcelos, A., and Leitão, F. (2020). Cloud calculator: A cloud assessment tool for the public administration. In The 21st Annual International Conference on Digital Government Research. ACM.

Vouk, M. (2008). Cloud computing — issues, research and implementations. pages 31–40. Proceedings of the 30th International Conference on Technology Interfaces.

Wang, Qiushi, Ming Tan, Xueyan Tang e Wentong Cai: Minimizing cost in iaas clouds via scheduled instance reservation. Em 2017 IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), Atlanta, GA, USA, 2017. IEEE. 19

Zhang, Qi, Lu Cheng e Boutaba Raouf: Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. Journal of Internet Services and Applications, 1(1):7–18, 2010. xiii, 14

## ANEXO A - MEMÓRIA DE CÁLCULO

CONSUMO DE ENERGIA							MEMÓRIA DE CÁLCULO
ID	ELEM. DE CUSTO	SERVIDORES	STORAGE	STORAGE E BKP	REDE	TOTAL	
A	Qtd. Racks	4	1	1	1	7	
B	% Distribuição	70%	10%	10%	10%	100%	Fonte: Uptime Institute
C	U por Rack	42	42	42	42	-	Padrão Rackfull
D	% de Utilização	3%	30%	30%	76%		Fonte: Uptime Institute
E	Qtd. de U Alocados	5	13	13	32	63	$E=AxCxD$
F	Consumo por U alocado (W)	385	200	50	150	175	Fonte: Uptime Institute
G	Consumo por Rack (kW/Rack)	0.05	0.06	0.02	0.11		$G=(FxE)/1000/C$
H	Consumo de Carga de TI (kW)	0.2	0.06	0.02	0.11	0.4	$H=GxA$
I	Consumo Carga UPS (kW)	0.2	0.06	0.02	0.11	0.4	$I=H$
J	Consumo Refrigeração (kW)	0.12	0.04	0.01	0.07	0.24	Fonte: Uptime Institute: $J=65\%xH$
K	Perda de Energia (kW)	0.06	0.02	0.01	0.04	0.13	Fonte: Uptime Institute: $K=35\%xH$
L	Consumo Total (kW)	0.37	0.12	0.03	0.23	0.75	$L=K+J+I$
M	Consumo Anual (M kWh/ano)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	Fonte: Uptime Institute: $M = (Lx0.95x8766 \text{ horas/ano})/10^6$
N	Custo Anual Energia (R\$ / ano)	R\$1,757.49	R\$570.61	R\$142.65	R\$1,084.17	R\$3,554.93	$N=Mx0,571$ (ANEEL tarifa verde)

### Equipamentos de TI

PowerEdge R6515, Storage Dell EMC ME4024 (100 TB SSD), Switch N9K C9348GC-FXP

### Infraestrutura Elétrica/Refrigeração

INFRAESTRUTURA ELÉTRICA/REFRIGERAÇÃO		
ID	ELEMENTO DE DESPESA	
Q	Custo Manutenção UPS Anual	Nobreak SMS Trimod HE 20 kVA; Topologia (UPS) Online Trifásico; Potência: 20 Kva; Tensão de Entrada: 380 V~(3FNT)x2
R	Custo Manutenção Motor Gerador Anual	Custos de Manutenção em 3 Anos: Grupo Motor- Gerador; Potência Nominal: 180 Kva
S	Custo Manutenção Ar-Condicionado Anual	Fonte: Senado Federal
T	Custo Total Manutenção Infraestrutura	$T = Q+R+S$

### Serviços Técnicos

Operações de TIC: Fonte: UPTIME Institute: Equipe de 3 Técnicos

Gerenciamento Ambiente Datacenter: Fonte: UPTIME Institute: Equipe de 3 Técnicos

Manutenção Datacenter: Fonte: UPTIME Institute: Equipe de 4 Técnicos

Segurança: Fonte: UPTIME Institute: Equipe de 3 Seguranças

### Licenciamento de Software

Virtualização: VMWARE vSphere + vRealize

Sistemas Operacionais: Microsoft Windows Server full

Monitoramento: MVL 16Licenses Corelic

Banco de Dados: Microsoft SQLServer All