

Requisitos não Funcionais e Sustentabilidade para Computação em Nuvem: uma Revisão Sistemática da Literatura

Kádna Camboim^{1,2} and Fernanda Alencar²

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns-PE, Brasil
kadna.camboim@ufrpe.br

² Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, Brasil
fernandaalenc@gmail.com

Resumo A computação em nuvem continua a se disseminar no mundo web, possibilitando o uso de aplicações, plataformas e infraestruturas através de conexões remotas. Requisitos não funcionais de grande importância para computação em nuvem devem considerar desempenho e sustentabilidade, de modo a impactar diretamente nos custos e na qualidade dos serviços prestados, considerando ainda evitar (maiores) danos à saúde ambiental. Uma das grandes dificuldades enfrentadas é a falta de padrões na adoção desta tecnologia, o que implica na maneira de melhor configurar infraestruturas, levando em conta a diversidade de requisitos essenciais que devem ser atendidos para garantias de entrega e fornecimento dos serviços. Este trabalho apresenta quais requisitos não funcionais e parâmetros de sustentabilidade necessitam de especial atenção no processo de migração para computação em nuvem. Os dados são apresentados como resultados de uma revisão sistemática da literatura.

Keywords: Computação em Nuvem · Requisitos não Funcionais · Sustentabilidade

1 Introdução

A computação em nuvem (*cloud computing*) remodelou a forma de como as empresas utilizam a computação, apresentando considerável avanço no campo de sistemas distribuídos, abrangendo os conceitos de computação em grade, computação em *cluster*, computação autônômica e utilitária. Consumidores e fornecedores de nuvem estão cada vez mais interessados neste paradigma devido sua praticidade e tendem a se preparar e investir para a demanda de novas necessidades comerciais, impulsionando o crescimento dos mais variados recursos e mecanismos para uso e gerenciamento dessa nova arquitetura de tecnologia da informação (TI).

Esse avanço muda os processos de negócio em função de estratégias que se modificam constantemente [1], se por um lado existem organizações entusiasmadas com a flexibilidade da tecnologia e se preparam para oferecer seus serviços,

por outro existem as que estão mais preocupadas com a gama de problemas devido a imaturidade da *cloud*.

As organizações mais conservadoras e interessadas em reduções de custos veem a computação em nuvem como uma alternativa para implantar sua própria infraestrutura de nuvem privada e preferem não depender ou assegurar seus dados aos fornecedores de nuvem pública, no entanto, os problemas a serem enfrentados estão relacionados à falta de padronização para estruturar sua nuvem privada (no máximo são oferecidos alguns princípios norteadores); legislação inadequada, riscos à segurança dos serviços; falta de mão-de-obra qualificada, retorno sobre o investimento e outros.

Não obstante, estão as questões ambientais, que devem ser consideradas no projeto de novas estruturas e na operação da nuvem, dado que o consumo de energia provocado por essas infraestruturas é cada vez mais denso e, portanto, provocam geração do calor, emitindo gases do efeito estufa [2]. Dessa forma, projetar e implantar a infraestrutura com maior eficiência energética é um aspecto relevante para a sustentabilidade.

Este trabalho se propõe a identificar, a partir dos resultados de uma revisão sistemática da literatura (RSL), quais são os requisitos não funcionais (RNFs) mais críticos no que se refere ao processo de implantação de uma infraestrutura de nuvem privada, considerando ainda métricas de sustentabilidade. O artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os conceitos de computação em nuvem, requisitos não funcionais e sustentabilidade; a Seção 3 apresenta a RSL; por fim, a Seção 4 conclui este trabalho, identificando as limitações e propostas futuras.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Computação em Nuvem

A computação em nuvem é definida como um modelo para habilitar acesso a rede sob demanda, ubíquo e conveniente para um *pool* compartilhado de recursos computacionais configuráveis, que podem ser rapidamente provisionados e lançados com mínimo esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços [3]. As nuvens se tornaram grandes repositórios de recursos virtualizados, tais como *hardware*, *software* e plataformas de desenvolvimento, que são facilmente acessíveis e configurados dinamicamente de modo a ajustar-se a diferentes cargas de trabalho com a intenção de otimizar sua utilização [4].

A disponibilidade destes recursos e seu modelo de pagamento *pay-per-use* influenciaram o rápido crescimento das aplicações, aumentando a demanda e a concorrência entre os prestadores para o oferecimento de serviços com um bom nível de qualidade, que resultou na implantação de grandes centros de dados (*data centers*), cujo funcionamento é dispendioso devido ao consumo geral de energia, que dobrou de 2005 a 2010, representando um total de 1,3% do consumo mundial de eletricidade [2].

A eficiência do *data center*, até bem pouco tempo, era medida unicamente em termos de indicadores vinculados à disponibilidade e ao desempenho, com

os aspectos ambientais sendo cada vez mais considerados, o aumento dos custos de energia e a limitação no seu fornecimento por parte de alguns provedores, é natural que os gerentes de infraestruturas de TI repensem as estratégias e considerem sustentabilidade nas diversas escolhas que precisam fazer [1].

Um centro de dados é um grande sistema composto por vários ativos interconectados, que fornece capacidade para processamento e armazenamento de dados em larga escala para qualquer tipo de organização de maneira centralizada. O *data center* e suas conexões formam a infraestrutura da nuvem, seja ela pública ou privada [1]. No caso da nuvem privada hospedada internamente, a empresa precisa construir sua infraestrutura de *data center* com os recursos que o façam funcionar em nuvem, incluindo componentes de hardware e software, sistemas de armazenamento, sistemas energéticos, software de gerenciamento, virtualização, controle de acesso físico, combate à incêndios, refrigeração de precisão, geradores de energia, UPS (*no-breaks*), dentre outros.

Alguns requisitos de projeto que devem ser pensados para implantação dessas infraestruturas são: atender a demanda atual e futura do negócio, reduzir o custo total de propriedade (TCO), facilitar o gerenciamento de recursos de rede, armazenamento e de banco de dados (SGBD), considerar suporte e manutenção, segurança, desempenho, disponibilidade, *downtime*, flexibilidade do negócio, etc.

2.2 Requisitos não Funcionais

Requisitos não funcionais (RNFs) especificam os critérios que podem ser usados para julgar o funcionamento de um sistema em vez de comportamentos específicos, em termos gerais, definem como um sistema é suposto ser [5]. Os requisitos não funcionais podem ser divididos em duas categorias principais: qualidades de execução, como segurança e usabilidade, que são observáveis em tempo de execução; e evolução de qualidades, tais como a capacidade de teste, manutenção, extensibilidade e escalabilidade, que são incorporados na estrutura estática do sistema. Disponibilidade, gerenciamento de falhas, tolerância a falhas, mantenedibilidade e desempenho são exemplos de RNFs [6].

De acordo com [6] não há uma definição formal ou uma lista completa de requisitos não funcionais, nem existe um esquema único de classificação universal, além de que diferentes pessoas usam terminologias diferentes; o que pode fazer com que seja mais difícil usar determinadas classificações sem personalizá-las. São apresentadas uma variedade de atributos de qualidade e apresentadas várias classes de RNFs, dentre elas estão:

- Restrições de desempenho - incluindo tempo de resposta, *throughput*, espaço de armazenamento, confiabilidade, segurança, sobrevivência, produtividade, etc.
- Restrições operacionais - incluindo restrições físicas, disponibilidade de pessoal, considerações de nível de habilidade, etc.
- Restrições do ciclo de vida - incluindo manutenção, melhorabilidade, portabilidade, flexibilidade, reutilização, compatibilidade, disponibilidade de recursos, limitações de tempo, padrões metodológicos, etc.

- Restrições econômicas - incluindo custos de desenvolvimento.
- Restrições políticas - incluindo questões políticas e legais.

Também é apresentada uma lista bem ampla de requisitos não funcionais que cobrem uma grande variedade de problemas para a qualidade do produto ou serviço. De forma breve, tem-se os seguintes: acessibilidade, confiabilidade, custos, disponibilidade, desempenho, interoperabilidade, eficiência, tolerância a falhas, flexibilidade, operabilidade, mensurabilidade, integridade, manutenção, segurança, escalabilidade, repetibilidade, sustentabilidade, sobrevivência, etc [6].

Os RNFs podem ter diferentes prioridades e servir como critérios de seleção entre alternativas distintas, entretanto, podem afetar-se mutuamente. Por exemplo, melhorar o desempenho pode aumentar custo, bem como melhorar segurança pode diminuir desempenho [7]. Dessa maneira, pode ser necessário refiná-los em hierarquias através de comparações quantitativas ou qualitativas, e atribuindo níveis de importância para cada um deles [8]. Esta influência mútua e importância relativa são comumente representadas como estruturas hierárquicas em algumas obras como o *Goal Graphs* [6].

2.3 Sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade abrange não apenas o impacto do ser humano sobre a natureza, mas também a capacidade tecnológica de se produzir materiais mais duráveis e que gerem menos resíduos, a fim de evitar o processo de degradação do planeta, o qual sempre ocorreu, mas vem se acelerando com a globalização e o aumento do consumo nas sociedades como um todo. A palavra sustentabilidade deriva do termo "desenvolvimento sustentável", que foi reconhecido internacionalmente em 1972, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, na Suécia. O desenvolvimento sustentável é o que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades [11].

O conceito que então tem sido amplamente divulgado nos últimos tempos para sustentabilidade, assim como para desenvolvimento sustentável, é no entanto, amparado pelos pilares econômico, social e ambiental. De um modo geral, um processo ou um sistema pode ser dito sustentável quando este apresenta condições para sua própria permanência, em um certo nível, pelo maior prazo possível. Todavia, se faz necessário uma grande mudança cultural, para que o foco da discussão seja de como a tecnologia pode viabilizar a produção de bens eficientes, duráveis e menos nocivos ao meio ambiente. A produção desse tipo de bens exige investimentos, principalmente em pesquisa e inovação tecnológica, mudanças na normalização, mudanças no relacionamento com os clientes, na cadeia produtiva, na legislação, entre outros fatores, desafiando empresas a funcionarem de uma maneira transparente e responsável [12].

Melhores práticas corporativas que regulam a responsabilidade ambiental atendem aos requisitos de governança de *Green IT* e beneficiam os *stakeholders*. Entre os padrões de governança específicos para as empresas há o *Global Report Initiative* (GRI) e a *International Organization for Standardization* (ISO) com a

norma 14.001, que orienta, especifica e ajuda no aprimoramento de um sistema de gestão ambiental [13]. O *Greenpeace* também regulamentam e reconhecem as empresas ecologicamente corretas.

O desafio é encontrar soluções eficazes para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa (GEE), estes por sua vez, absorvem radiação na frequência do infravermelho, aprisionando calor na atmosfera, contribuindo assim para o aquecimento global. Devido ao crescente desenvolvimento dos processos industriais, incluindo as TICs e *data centers*, houve aumento no consumo de energia [14], que em parte é responsável por uma parcela de emissão de dióxido de carbono (CO_2). Empresas de computação intensiva correspondem em média de 10% das emissões de CO_2 e os computadores diretamente consomem demasiada energia elétrica, mas também, indiretamente em sua produção e descarte causam impacto no ambiente e colaboram no aumento de GEE. Apesar dos esforços para alcançar sustentabilidade as estatísticas mostram que países como China, Japão e Estados Unidos, que contribuem fortemente para o crescimento global são grandes emissores de CO_2 .

Neste sentido, o compromisso com a sustentabilidade, a utilização de práticas ecologicamente responsável, o uso de energias alternativas e limpas, dentre outras questões que corroboram com o desenvolvimento sustentável abrem inúmeras oportunidades de pesquisa e inovação, no entanto, é preciso que as organizações e usuários possam aplicar verdadeiramente estes conceitos para então ser possível alcançar redução de custos, do consumo de energia e de danos ambientais [15].

3 Revisão Sistemática da Literatura

Há várias razões que justificam a realização de uma revisão sistemática, de forma breve, pode-se dizer que através dela é possível resumir evidências sobre determinada área, identificar lacunas que necessitam de maior investigação e fornecer uma estrutura para novas atividades de pesquisa. Vale ainda ressaltar que a condução da revisão sistemática deve ser realizada de forma justa, seguindo uma estratégia de pesquisa pré-definida, que permita avaliar a integridade da pesquisa e identificar quais apoiam ou não as suas hipóteses [16].

Uma série de atividades discretas são conduzidas em diferentes fases do processo para realização de uma revisão sistemática. As fases devem obedecer a uma ordem sequencial de execução, porém, as atividades iniciadas durante o desenvolvimento do protocolo podem ser refinadas em uma fase posterior. Para a realização deste trabalho foram realizadas as etapas para condução do protocolo da revisão sistemática da literatura conforme apresentadas na Figura 1 (entenda EP como Estudo Primário), e seguindo as recomendações de [16].

Inicialmente, foi definida a seguinte hipótese de pesquisa: Não existe padronização para apoiar a migração para computação em nuvem, que considere requisitos não funcionais que dão apoio à sustentabilidade. Para tentar refutar a hipótese de pesquisa buscou-se responder às questões de pesquisa apresentadas na Tabela 1. As fontes de buscas foram selecionadas considerando sua importância para a área de pesquisa, além de também considerar a quantidade de

resultados alcançados nos testes piloto, escolhendo então as que apresentaram melhores resultados. As bases de busca escolhidas são IEEE Xplore¹, ACM Digital Library² e Scopus³. A partir das questões de pesquisas foram definidas as palavras chaves e seus sinônimos para compor as estratégias (*strings*) de buscas, utilizando os operadores lógicos OR (ou) para realizar a busca por qualquer um dos sinônimos apresentados e o operador AND (e) para adicionar mais palavras ao termo, como apresentada na Tabela 2.

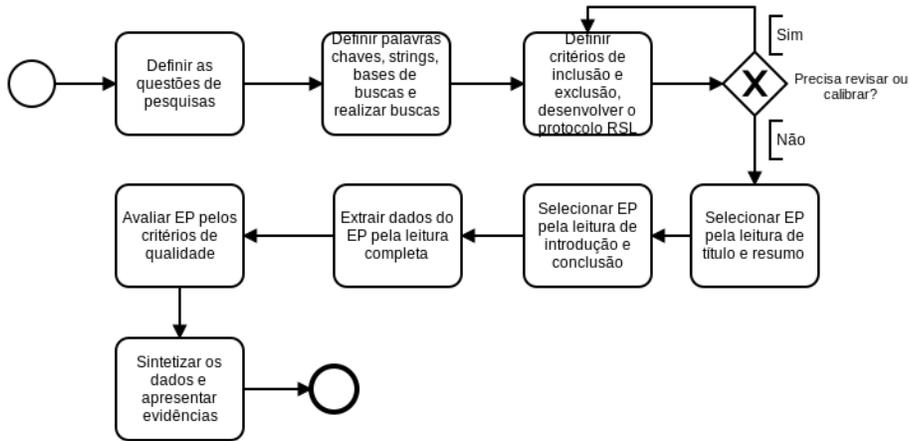


Figura 1: Etapas da RSL

Tabela 1: Questões de Pesquisa

Questões de Pesquisa
QP1. Existe uma abordagem para apoiar a migração para <i>cloud</i> ?
QP2. Existe uma abordagem para apoiar a migração para <i>cloud</i> , que considere RNFs e sustentabilidade?
QP3. Quais problemas em aberto relacionados com a área de pesquisa?

¹ <http://www.ieeexplore.ieee.org/Xplore>

² <http://dl.acm.org/>

³ <http://www.scopus.com>

Tabela 2: *Strings* de Buscas

<i>Strings</i> de Buscas
QP1. (cloud computing OR private cloud OR public cloud) AND (approach OR technique OR method OR guide OR models) AND (migration)
QP2. (cloud computing OR private cloud OR public cloud) AND (approach OR technique OR method OR guide OR models) AND (migration) AND (sustainability OR sustainable) AND (non-functional requirements)
QP3. (cloud computing OR private cloud OR public cloud) AND (approach OR technique OR method OR guide OR models) AND (migration) AND (open issues OR load mapping OR open research OR open problem)

Os critérios de inclusão e exclusão devem identificar os estudos primários que fornecem evidências direta sobre a questão da pesquisa. Eles devem ser pilotados para garantir que possam ser interpretados de forma confiável e classifiquem os estudos corretamente [16]. As Tabelas 3 e 4 apresentam respectivamente os critérios de inclusão e de exclusão desta pesquisa.

Tabela 3: Critérios de Inclusão

Critérios de Inclusão
1 Os estudos devem ter sido publicados em <i>journals</i> , simpósios ou conferências das bases citadas.
2 Os estudos devem estar escritos em inglês.
3 Os estudos devem estar disponíveis na web.
4 Os estudos devem ser artigos completo.
5 Estudos que abordam relacionamento com o foco do trabalho.
6 Estudos primários.

Tabela 4: Critérios de Exclusão

Critérios de Exclusão
1 Estudos secundários e terciários.
2 Artigos resumidos.
3 Estudos duplicados (apenas um será considerado).
4 Estudos que não abordam relacionamento com o foco do trabalho.
5 Estudo redundante de algum autor (a versão mais completa será considerada).
6 Livro ou capítulo de livro.

A fase de execução compreende a selecionar os estudos primários (EP) e extrair os dados. Com o auxílio da ferramenta StArt foram importados os *.bib* dos EP adquiridos para cada questão de pesquisa nas três bases de buscas citadas. O processo para condução do protocolo foi iniciado no ano de 2016 sendo necessário realizar uma atualização das buscas no ano de 2017. As fases de seleção dos estudos, leitura completa e extração dos dados ocorreu de abril a julho de 2017. As buscas na base IEEE resultaram em 816 estudos, na ACM em 229 e na SCOPUS em 1328. A Figura 2 apresenta os resultados das atividades de seleção e remoção de estudos para as fases que correspondem a seleção, execução e análise.

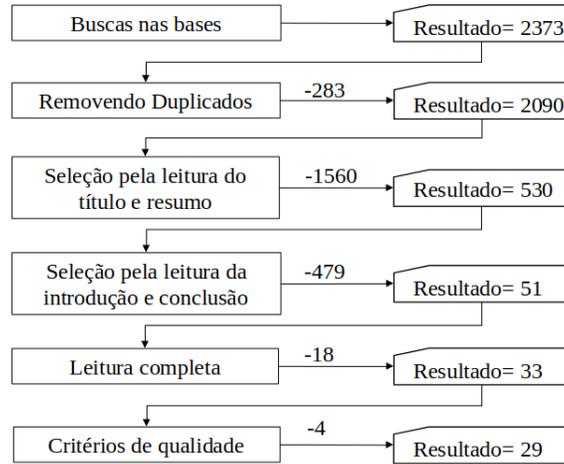


Figura 2: Seleção dos Artigos

Após a leitura completa dos artigos foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão definidos no protocolo de pesquisa e os resultados foram registrados para posterior análise. Ao final, um total de 51 artigos foram lidos por completo, sendo que 18 deles não se enquadravam no foco da pesquisa, portanto, foram rejeitados. Dos 33 artigos que ficaram, após a aplicação dos critérios de qualidade 4 deles foram rejeitados, restando então 29 artigos para coleta dos dados.

Os critérios de avaliação de qualidade servem para classificar os estudos selecionados por uma pontuação técnica capaz de medir sua credibilidade, completude e relevância. Esta pontuação representa um ponto quando a resposta é sim (S=1), zero quando a resposta é não (N=0) e vale meio ponto quando responde parcialmente (P=0.5). Para classificar os estudos foi feita uma média das respostas, que corresponde ao índice de qualidade alcançado (dado em porcentagem), artigos com média abaixo de sete (7.0) pontos foram rejeitados (o que aconteceu com quatro artigos, como mostrado na Figura 2). Os critérios de qualidade para esta pesquisa são apresentados na Tabela 5 (Considere como possíveis resposta para o item 13 os seguintes: Elicitação, análise e negociação, especificação, gestão e não aplicável).

Tabela 5: Critérios para Avaliação de Qualidade

Critérios	
1	Há uma explicação do porquê de o estudo ter sido feito?
2	O estudo foi baseado em pesquisa (ou é baseado na experiência do autor)?
3	Os autores deixam claro qual é o objetivo do estudo?
4	A abordagem proposta está claramente descrita?
5	O contexto da pesquisa está descrito claramente (laboratório, produtos usados)?
6	O contexto de pesquisa foi descrito em um nível adequado (indústria, ambiente de laboratório, os produtos utilizados e assim por diante)?
7	Há uma discussão sobre os resultados obtidos?
8	As limitações do estudo estão claramente descritas?
9	Há uma clara apresentação dos problemas em aberto na área de estudo?
10	Há informação suficiente para que o estudo possa ser replicado?
11	O estudo é apoiado por ferramenta?
12	Se o artigo trata de NFR, os mesmos foram validados?
13	Se o artigo trata de RNF, trata também das fases do processo de engenharia de requisitos? Se sim, quais são?
14	Será que a pesquisa também agregar valor à comunidade industrial?

Uma decisão importante é que os critérios 12 e 13 somente foram considerados para os artigos que tratavam de requisitos não funcionais, isto porque esta pesquisa tem interesse em três temas distintos, assim, não seriam pontuados de forma injusta os estudos que não tinham abordado RNF. Os dados que foram coletados e organizados para mostrar informações gerais e específicas dos estudos selecionados estão relacionados ao ano de publicação, país, objetivo do estudo, definição de conceitos sobre os temas abordados e alguns atributos para cada questão de pesquisa. Os atributos são para saber se especifica qual tipo de nuvem; se há um modelo de serviço específico; se são especificados RNFs e se tem técnica de validação; se considera sustentabilidade e se trata algum pilar específico; quais aspectos de sustentabilidade; e quais problemas em aberto.

Resultados das Análises A Figura 3a apresenta o total de estudos selecionados para extração de dados por base de busca e a Figura 3b mostra a quantidade de artigos por ano de publicação. Nota-se que a maioria dos artigos são da base IEEE (21 artigos), com representatividade de 72,41% do total, seguida pela SCOPUS com 24,14% (7 artigos do total), e por último a ACM que só teve 3,45% (correspondendo a apenas 1 artigo desta base). Também foi feito um estudo sobre o ano das publicações, observa-se que o estudo mais antigo aqui selecionado se refere ao ano de 2009, e a partir deste ano até 2017 houve trabalhos selecionados.

No geral, 16 artigos respondem a QP1, ou seja, abordam o tema sobre migração para computação em nuvem. Um total de 17 artigos respondem a QP2, dos quais 3 estudos abordam RNF e um total de 14 artigos consideram sustentabilidade. A QP3 é respondida por 21 dos estudos. O resultado ultrapassa 29 (quantidade dos artigos selecionados para esta RSL) porque 22 artigos respondem pelo menos duas das questões de pesquisa e 7 respondem apenas uma questão de pesquisa. Com base nestes dados, pode-se concluir que a maioria dos artigos apresentam respostas satisfatórias para esta busca, considerando que muitas propostas de trabalhos futuros foram apresentadas e podem ser vistas

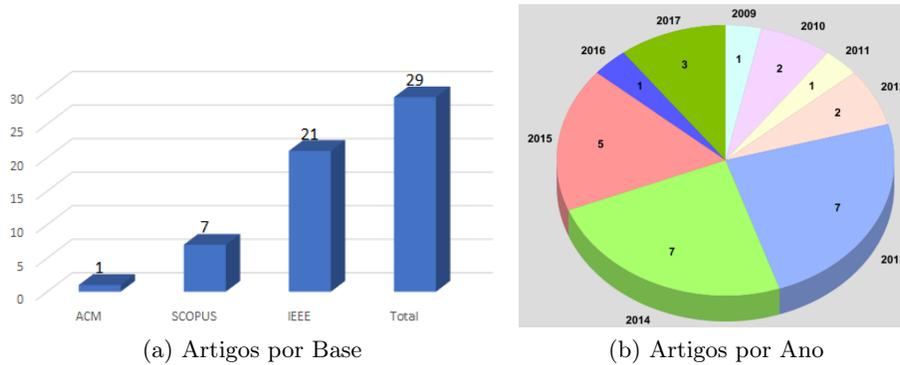


Figura 3: Quantidade de Artigos por Base e Ano

como lacunas a serem estudadas, depois, conclui-se que existe iniciativas para resolver problemas sobre migração para *cloud*, e que sustentabilidade está em alta, mas pouco está consolidado sobre estas tecnologias. Muito pouco foi conseguido sobre RNF, o que pode representar que aspectos de qualidade são tratados distintamente para computação em nuvem ou mesmo que pode ser considerado com algum outro nome que não foi descrito na *string* de busca. A Tabela 6 apresenta os estudos primários identificando quais questões de pesquisas eles respondem.

Tabela 6: Questões de Pesquisas X Estudos Primários

QP	Id dos Estudos
QP1	EP_02 [19], EP_04 [20], EP_05 [21], EP_06 [22], EP_10 [23], EP_11 [24], EP_12 [25], EP_13 [26], EP_16 [27], EP_17 [40], EP_18 [28], EP_19 [29], EP_20 [30], EP_26 [18], EP_27 [31], EP_28 [32]
QP2	EP_02 [19], EP_20 [30], EP_26 [18] (RNF) EP_01 [33], EP_03 [34], EP_07 [35], EP_08 [36], EP_09 [37], EP_14 [38], EP_15 [39], EP_17 [40], EP_21 [41], EP_22 [42], EP_23 [43], EP_24 [44], EP_25 [45], EP_29 [46] (Sust.)
QP3	EP_01 [33], EP_04 [20], EP_05 [21], EP_07 [35], EP_09 [37], EP_10 [23], EP_11 [24], EP_12 [25], EP_13 [26], EP_14 [38], EP_17 [40], EP_19 [29], EP_20 [30], EP_21 [41], EP_22 [42], EP_23 [43], EP_25 [45], EP_26 [18], EP_27 [31], EP_28 [32], EP_29 [46]

Vale ressaltar que nenhum estudo aborda RNFs de qualidade e sustentabilidade ao mesmo tempo. Apenas dois artigos respondem as três questões de pesquisa, são eles: EP_17 [40] e EP_26 [18], mas referindo-se a RNF ou sustentabilidade. Pode-se considerar que estes dois artigos são os mais completos em termos de questões que consegue responder e que eles apresentam alto relacionamento com o foco desta pesquisa, no entanto, diferentemente de ambos, este artigo aborda RNFs de qualidade e sustentabilidade em conjunto.

Do total de 29 artigos selecionados, apenas 19 deles apresentam definições para *Cloud Computing*. Um total de 17 estudos respondem a QP1, mas 2 estudos apresentam definições para *cloud* e não apoiam qualquer tipo de migração, estes são os EP_03 e EP_29, cujo foco de ambos está em sustentabilidade para *cloud*, respondendo então a QP2 parcialmente. Um total de 14 artigos apresentam uma abordagem, 1 estudo apresenta uma metodologia e 2 apresentam uma técnica para migração. Somente 4 destes especificam qual tipo de nuvem estão considerando, sendo os estudos EP_05, EP_06 e EP_18 para nuvem privada e o EP_10 para uma nuvem pública. Um total de 7 artigos especificam qual tipo de modelo apoiam, sendo 4 deles (EP_05, EP_10, EP_13 e EP_18,) para IaaS, 2 deles (EP_19 e EP_20) para SaaS e 1 (EP_04) diz que serve para vários modelos (IaaS, PaaS, SaaS, DaaS).

Apenas três artigos respondem a QP2, focando em requisitos não funcionais, sendo os estudos: EP_02, EP_20 e EP_26. No estudo EP_02 os requisitos citados são: custo, confidencialidade, flexibilidade, desempenho, segurança, serviço e suporte. No estudo EP_20 os requisitos citados são na maioria voltados para segurança, são eles: controle de acesso, disponibilidade, integridade e privacidade. No estudo EP_26 os requisitos citados são: agilidade, conformidade, custo, desempenho, disponibilidade, garantia, integridade, privacidade, segurança e usabilidade. Nenhum dos artigos apresenta alguma técnica para validação dos RNFs e nenhum considera ou especifica o que seria requisitos não funcionais de alta importância para sustentabilidade em *Cloud*. Esses estudos apresentam pouca contribuição para o objetivo da pesquisa, considerando que o contexto em que foram aplicados não se relacionam com os objetivos para propostas de trabalhos futuros. Os RNFs por eles citados são bem conhecidos na literatura.

Dos 14 artigos que tratam sustentabilidade, somente 3 (EP_14, EP_15 e EP_21) identificam um pilar específico, que é o ambiental. O restante não apresenta nenhuma informação pontual sobre esta definição. Apesar de a maioria não destacar esse ponto, todos eles identificaram quais eram os aspectos de sustentabilidade que seriam considerados. A Tabela 7 apresentam quais são estes aspectos, mostrando quantos e quais estudos que se referem a eles.

Tabela 7: Aspectos de Sustentabilidade

Aspectos	Quant. de EPs	Id
Eficiência energética (EE)	3	EP_01, EP_03, EP_08
EE, Energias alternativas (EA)	1	EP_07
EE, Preocupações ambientais (PA)	4	EP_17, EP_23, EP_25, EP_29
EE, EA, PA	3	EP_09, EP_14, EP_15
EE, PA, Refrigeração	1	EP_21
EE, EA, PA, Refrigeração	1	EP_24
PA, Eficiência hídrica, Pegada de água	1	EP_22

A partir dos dados apresentados fica claro definir que para todos os artigos que abordam sustentabilidade o pilar especificamente considerado foi o ambiental. No entanto, cabe ainda analisar de que modo estes aspectos influenciam nos

outros dois pilares (social e econômico), dado que quando se consegue eficiência energética, de certo modo e a longo prazo, há um impacto na redução de custos, isto porque os três estão intrinsecamente relacionados. Será importante considerar esta relação em breve.

A fim de identificar lacunas para possíveis problemas, esta RSL apresentou a QP3. No total, 21 artigos abordaram de alguma maneira possíveis lacunas que podem ser melhor investigadas e surgir como um problema aberto na área de *cloud computing*. Inúmeros problemas foram identificados, entre os que mais se relacionam com esta pesquisa, estão os seguintes:

- Migração para *cloud* - entre os problemas mais citados estão o gerenciamento ineficiente, problemas com legislação, falta de padrões, falta de controle, transparência e licenciamento.
- Dificuldades em satisfazer requisitos de qualidade ou econômicos para *cloud* - entre os mais citados estão os aspectos de segurança (como vulnerabilidade da virtualização, segurança dos dados, privacidade, confidencialidade, etc), desempenho, disponibilidade e custos.
- Sustentabilidade - falta aplicação prática; engessamento de cultura; ineficiência de fiscalização e cobranças; dificuldades no processo de tomada de decisões; diversidade e alto nível de complexidade de técnicas para avaliar aspectos como eficiência energética; rápida modificação de técnicas e surgimentos de novas necessidade; altos custo de equipamentos mais eficientes e demora no retorno do investimento.

4 Conclusões

A computação em nuvem provém de dispendiosas infraestruturas de *data centers*, que são enormes fontes consumidoras de energia. Para uma maior disseminação deste paradigma é esperado um grande aumento na construção de novos *data centers*, o que gera preocupação em escala mundial devido ao aquecimento global. Além disso, é determinante que alguns requisitos não funcionais sejam atendidos desde o projeto até a entrega dos serviços. Neste trabalho foi realizada uma revisão sistemática da literatura, cujos resultados extraídos de um total de 29 estudos apresentam evidências de lacunas na área pesquisada e mostra a importância da problemática, considerando especialmente requisitos não funcionais e sustentabilidade para computação em nuvem. Adicionalmente, são identificados os problemas e oportunidades para novas pesquisas. Para solucionar o problema sobre a falta de padronização para a implantação de infraestruturas de nuvem privadas, considerando aspectos de qualidade e de sustentabilidade, como proposta de trabalho futuro pretende-se oferecer uma abordagem que apresente um conjunto de métricas e modelos que auxiliem na avaliação tanto do desempenho ambiental quanto do desempenho operacional das nuvens privadas. As limitações deste trabalho estão relacionadas aos possíveis vieses que podem ter sido introduzidos na RSL e ao tempo e esforço demandado devido a quantidade de artigos selecionados na fase inicial. A fim de mitigar a questão dos vieses, todo

o protocolo sistemático da pesquisa foi definido antecedendo sua realização e o processo foi seguido a partir deste.

Agradecimentos À UFPE pelos recursos viabilizados para a elaboração desse trabalho.

Referências

1. Veras, M. Computação em Nuvem: nova arquitetura de TI. 2015. v. 1 a Edição. ISBN 978-85-7452-747-5
2. Koomey, J. Growth in data center electricity use 2005 to 2010. A report by Analytical Press, completed at the request of The New York Times, v. 9, 2011
3. Mell, P.; Grance, T. et al. The NIST definition of cloud computing. Computer Security Division, Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, 2011
4. Vaquero, L. M. et al. A break in the clouds: towards a cloud definition. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, ACM, v. 39, n. 1, p. 50–55, 2008
5. Sommerville, I. Engenharia de Software. Pearson Brasil, 2011. ISBN 9788579361081
6. Chung, L. et al. Non-Functional Requirements In Software Engineering. 1999. ISBN 10:079238666-3
7. Kazman, R. et al. The architecture tradeoff analysis method. ICECCS 1998
8. In, H. P.; Olson, D.; Rodgers, T. Multi-criteria preference analysis for systematic requirements negotiation. COMPSAC 2002. p. 887–892
9. Chang, Y.-R.; Amari, S.; Kuo, S.-Y. Computing system failure frequencies and reliability importance measures using obdd. 2004. ISSN 0018-9340
10. Maciel, P.; Lins, R.; Cunha, P. Introduction of the Petri Net and Applied. Campinas, SP. 1996
11. WCE&D, U. Un world comission on environment and development. Our Common Future, Oxford University Press Oxford, 1987
12. Hart, S. L.; Milstein, M. B. Criando valor sustentável. RAE executivo, v. 3, n. 2, p. 65–79, 2004
13. Makower, J. A economia verde: descubra as oportunidades e os desafios de uma nova era dos negócios. São Paulo, 2009
14. Richter, R. M. TI Verde: Sustentabilidade por meio da Computação em Nuvem. 2013
15. Murugesan, S. Harnessing green it: Principles and practices. 2008
16. Kitchenham, B. Procedures for performing systematic reviews. Keele University, 2004
17. Werner, J. et al. Simulator improvements to validate the green cloud computing approach. LANOMS 2011
18. Alkhalil, A.; Sahandi, R.; John, D. A review of the current level of support to aid decisions for migrating to cloud computing. ICC 2016. ISBN 978-1-4503-4063-2
19. Nussbaumer, N.; Liu, X. Cloud migration for smes in a service oriented approach. COMPSACW 2013
20. Chu, W. C. C. Et Al. An approach of quality of service assurance for enterprise cloud computing (qosaecc). TSA 2014 p. 7–13
21. Tsalis, N.; Theoharidou, M.; Gritzalis, D. Return on security investment for cloud platforms. 2013. v. 2, p. 132–137

22. Hwang, J. et al. Enterprise-scale cloud migration orchestrator. 2015. p. 1002–1007. ISSN 1573-0077
23. Sripanidkulchai, K.; Sujichantararat, S. A business-driven framework for evaluating cloud computing. 2012. p. 1335–1342. ISSN 1542-1201
24. Soni, M.; Namjoshi, J.; Pillai, S. Robustness and oppurtuneness based approach for cloud deployment model selection. ICACCI 2013. p. 207–212
25. Chang, S. E.; Chiu, K.-M.; Chiao, Y.-C. Cloud migration: Planning guidelines and execution framework. 2015. p. 814–819. ISSN 2165-8528
26. Sun, K.; Li, Y. Effort estimation in cloud migration process. SOSE 2013. p. 84–91
27. Abderrahim, W.; Choukair, Z. A framework architecture based model for cloud computing adaptive migration. GIIS 2014. p. 1–6. ISSN 2150-3281
28. Mohamed, I. H.; Karim, A.; Ahmed, A. The migration of the university it infrastructure toward a secure iaas cloud. ICEIT 2015. p. 357–362
29. Boillat, T.; Legner, C. Why do companies migrate towards cloud enterprise systems? A post-implementation perspective. 2014. v. 1, p. 102–109. ISSN 2378-1963
30. Islam, S. et al. Assurance of security and privacy requirements for cloud deployment model. IEEE Transactions on Cloud Computing, 2015. ISSN 2168-7161
31. Palos-Sánchez, P. R.; Arenas-Márquez, F. J.; Aguayo-Camacho, M. Determinants of adoption of cloud computing services by small, medium and large companies. Journal of Theoretical & Applied Information Technology, v. 95, n. 6, 2017
32. Maresova, P.; Sobeslav, V.; Krejcar, O. Cost–benefit analysis–evaluation model of cloud computing deployment for use in companies. V. 49, n. 6, p. 521–533, 2017
33. Younge, A. J. et al. Efficient resource management for cloud computing environments. 2010. p. 357–364
34. Bagheri, Z.; Zamanifar, K. Enhancing energy efficiency in resource allocation for real-time cloud services. IST 2014. p. 701–706
35. Cheng, D.; Jiang, C.; Zhou, X. Heterogeneity-aware workload placement and migration in distributed sustainable datacenters. 2014. p. 307–316. ISSN 1530-2075
36. Giacobbe, M. et al. Evaluating a cloud federation ecosystem to reduce carbon footprint by moving computational resources. ISCC, 2015. p. 99–104
37. Erol-Kantarci, M.; Mouftah, H. T. Overlay energy circle formation for cloud data centers with renewable energy futures contracts. ISCC, 2014. ISSN 1530-1346
38. Pawlish, M.; Varde, A. S.; Robila, S. Decision support in data centers for sustainability. 2013. ISSN 2375-9232
39. Berral, J. L. Et Al. Building green cloud services at low cost. ICDCS, 2014. ISSN 1063-6927
40. Werner, J. Et al. Simulator improvements to validate the green cloud computing approach. LANOMS, 2011. p. 1–8
41. Witkowski, M. Et al. Enabling sustainable clouds via environmentally opportunistic computing. CloudCom, 2010. p. 587–592
42. Ren, S. Optimizing water efficiency in distributed data centers. CGC, 2013. p. 68–75
43. Priya, B.; Pilli, E. S.; Joshi, R. C. A survey on energy and power consumption models for greener cloud. IACC, 2013. p. 76–82
44. Marwah, M. et al. Data analysis, visualization and knowledge discovery in sustainable data centers. COMPUTE, 2009. ISBN 978-1-60558-476-8
45. Beloglazov, A.; Abawajy, J.; Buyya, R. Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for cloud computing. 2012
46. Dandres, T. et al. Consideration of marginal electricity in real-time minimization of distributed data center emissions. Journal of Cleaner Production, v. 143, p. 116 – 124, 2017. ISSN 0959-6526.