



VITOR ANDRÉ CURTOLO

**COMO A UTILIZAÇÃO DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM PODE
AJUDAR A MINIMIZAR O EFEITO ESTUFA E ENFRAQUECER O
AQUECIMENTO GLOBAL**

CAMPINAS

2024

VITOR ANDRÉ CURTOLO

COMO A UTILIZAÇÃO DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM PODE AJUDAR A
MINIMIZAR O EFEITO ESTUFA E ENFRAQUECER O AQUECIMENTO GLOBAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
exigência parcial para obtenção do diploma do
Curso Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento
de Sistemas do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia, Campus Campinas

Orientadora: Profa. Dra. Cecília Peixoto.

CAMPINAS

2024

Ficha Catalográfica
Instituto Federal de São Paulo – Campus Campinas
Biblioteca
Tatiane Salles – CRB 8/8946

Curtolo, Vitor André

C981c Como a utilização de computação em nuvem pode ajudar a
minimizar o efeito estufa a enfraquecer o aquecimento global / Vitor André Curtolo. –
Campinas, SP: [s.n.], 2024.

63 f. : il.

Bibliografia: 60-63

Orientadora: Dra. Cecília Peixoto

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo Campus Campinas. Curso de Tecnologia
em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, 2024.

1. Computação em nuvem. 2. Aquecimento global. 3.
Sustentabilidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Campus Campinas, Curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas. II. Título.

CDD: 004

ATA N.º 6/2024 - TEINFO-CMP/DAE-CMP/DRG/CMP/IFSP

Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso - TADS

Na presente data, realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Como a Utilização de Computação em Nuvem pode ajudar a minimizar o efeito estufa e enfraquecer o Aquecimento Global, apresentado(a) pelo(a) aluno(a) Vitor André Curtolo do **CURSO DE TECNÓLOGO EM ANÁLISE DE SISTEMAS** (campus Campinas). Os trabalhos foram iniciados às 15:00hs pelo(a) Professor(a) presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

Membros	Instituição	Presença (Sim/Não)
Cecilia Sosa Arias Peixoto (Presidente/Orientador)	IFSP	sim
Andre Luís Bordignon (Examinador 1)	IFSP	sim
Júlio César Pedroso (Examinador 2)	IFSP	sim

Observações:

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição do(a) candidato(a). Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo(a) aluno(a), tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ X] Aprovado(a) ☐] Reprovado(a)

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu lavrei a presente ata que assino em nome dos demais membros da banca examinadora.

IFSP Campus Campinas - 05/12/2024

Documento assinado eletronicamente por:

- Cecilia Sosa Arias Peixoto, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO, em 10/12/2024 17:31:09.
- Andre Luis Bordignon, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/12/2024 20:35:33.
- Julio Cesar Pedroso, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 12/12/2024 10:05:58.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/12/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 855127
Código de Autenticação: e096cef73b



ATA N.º 6/2024 - TEINFO-CMP/DAE-CMP/DRG/CMP/IFSP

RESUMO

Este trabalho explora a relação entre computação em nuvem e TI verde, analisando como práticas sustentáveis adotadas em data centers e infraestruturas de nuvem podem reduzir a pegada de carbono e o consumo de energia. O estudo busca compreender como a migração para a nuvem, aliada a práticas de TI verde, contribui para o combate ao aquecimento global, promovendo a eficiência energética e a sustentabilidade no setor de tecnologia da informação. A metodologia inclui uma revisão da literatura sobre computação em nuvem e TI verde, além de uma análise de estudos de caso de empresas que implementaram práticas sustentáveis em suas operações na nuvem. Em seguida, são examinados relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia (Google e AWS) para identificar as estratégias adotadas para reduzir emissões de CO₂ e melhorar a eficiência energética. Entre as práticas analisadas estão o uso de energia renovável, a implementação de tecnologias de IA para otimização de recursos e o compromisso com a economia circular. Os resultados mostram que a computação em nuvem, quando aliada a tecnologias sustentáveis, não só otimiza a infraestrutura de TI, mas também reduz significativamente o impacto ambiental das operações. Conclui-se que a computação em nuvem é uma ferramenta poderosa na luta contra as mudanças climáticas, com potencial para inspirar empresas a adotarem práticas sustentáveis e eficientes, contribuindo para um futuro mais ecológico e sustentável.

Palavras-chave: computação em nuvem; aquecimento global; ti verde; sustentabilidade.

ABSTRACT

This study explores the relationship between cloud computing and green IT, analyzing how sustainable practices adopted in data centers and cloud infrastructures can reduce carbon footprints and energy consumption. The research aims to understand how cloud migration, combined with green IT practices, contributes to combating global warming by promoting energy efficiency and sustainability in the information technology sector. The methodology includes a literature review on cloud computing and green IT, as well as an analysis of case studies from companies that have implemented sustainable practices in their cloud operations. Additionally, sustainability reports from major technology companies (Google and AWS) are examined to identify strategies adopted to reduce CO₂ emissions and improve energy efficiency. Among the practices analyzed are the use of renewable energy, the implementation of AI technologies for resource optimization, and commitments to the circular economy. The results show that cloud computing, when paired with sustainable technologies, not only optimizes IT infrastructure but also significantly reduces the environmental impact of operations. It is concluded that cloud computing is a powerful tool in the fight against climate change, with the potential to inspire companies to adopt sustainable and efficient practices, contributing to a greener and more sustainable future.

Keywords: cloud computing; global warming; green it; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de nuvem híbrida	19
Figura 2 - Curva de Keeling	27
Figura 3 – Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (1)	28
Figura 4 - Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (2)	29
Figura 5 - Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (3)	30
Figura 6 - Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (4)	30
Figura 7 - Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (5)	31

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - Análise Estudo de Caso de Salles et. al (2016)	38
Quadro 2 - Análise Estudo de Caso de Pinto et. al (2021)	40
Quadro 3 - Análise Estudo de Caso de Lunardi et. al (2014)	42
Quadro 4 - Análise Estudo de Caso de Trivedi et. al (2014)	44
Quadro 5 - Tabela da Análise Comparativa	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	JUSTIFICATIVA	13
3	OBJETIVOS	14
3.1	Objetivo geral.....	14
3.2	Objetivos específicos.....	14
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
4.1	Computação em nuvem.....	15
4.1.1	<i>Modelos de implantação de nuvem</i>	16
4.1.1.1	<i>Nuvem pública</i>	16
4.1.1.2	<i>Nuvem privada</i>	17
4.1.1.3	<i>Nuvem comunitária</i>	18
4.1.1.4	<i>Nuvem híbrida</i>	19
4.1.2	<i>Modelos de serviço</i>	20
4.1.2.1	<i>Infrastructure as a service</i>	20
4.1.2.2	<i>Platform as a service.....</i>	21
4.1.2.3	<i>Software as a service</i>	21
4.1.3	<i>Segurança</i>	22
4.1.3.1	<i>Riscos e desafios de segurança ne nuvem.</i>	23
4.1.3.2	<i>Benefícios da segurança na nuvem</i>	24
4.2	Efeito estufa.....	25
4.3	Aquecimento global	26
4.4	Emergência climática	26
4.5	TI verde	32
4.6	Relação entre computação em nuvem e TI verde.....	32

5	METODOLOGIA.....	34
5.1	Revisão de literatura	34
5.2	Pesquisa de estudos de caso	34
5.3	Análise de relatórios de sustentabilidade	35
5.4	Análise comparativa	36
6	RESULTADOS	37
6.1	Análise de estudos de caso	37
6.1.1	<i>Análise estudo de caso 1</i>	<i>37</i>
6.1.2	<i>Análise estudos de caso 2</i>	<i>39</i>
6.1.3	<i>Análise estudo de caso 3</i>	<i>41</i>
6.1.4	<i>Análise estudo de caso 4</i>	<i>43</i>
6.2	Análise comparativa dos estudos de caso	45
6.3	Análise dos relatórios de sustentabilidade	49
6.3.1	<i>Apurações do relatório de sustentabilidade da google de 2024.</i>	<i>49</i>
6.3.2	<i>Apurações do relatório de sustentabilidade da google de 2023.</i>	<i>51</i>
6.3.3	<i>Apurações do relatório de sustentabilidade da AWS de 2023.</i>	<i>53</i>
6.4	Análise geral dos relatórios de sustentabilidade.....	54
6.5	Recomendações para adoção sustentável de computação em nuvem.....	56
7	CONCLUSÃO.....	58
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

A computação em nuvem e a TI verde emergiram como paradigmas complementares na era digital, com potencial significativo para transformar o setor de tecnologia da informação e comunicação (TIC). A computação em nuvem, definida como a entrega de serviços de computação, incluindo servidores, armazenamento, bancos de dados, rede, software e análises pela Internet (“a nuvem”), tem revolucionado a forma como as empresas e indivíduos gerenciam e acessam recursos tecnológicos (Mell; Grance, 2011).

Ao permitir a escalabilidade e a flexibilidade, a computação em nuvem oferece uma alternativa eficiente em termos de custo e desempenho em relação à infraestrutura de TI tradicional.

A TI verde, por sua vez, refere-se a práticas e tecnologias que visam minimizar os impactos ambientais da produção, uso e descarte de produtos de tecnologia. Isso inclui a adoção de medidas para reduzir o consumo de energia, a emissão de gases de efeito estufa e o desperdício eletrônico (Murugesan, 2008). A integração desses conceitos tem ganhado destaque à medida que as organizações buscam não apenas melhorar a eficiência operacional, mas também cumprir com metas de sustentabilidade ambiental.

A computação em nuvem pode ser vista como uma facilitadora crucial para a TI verde. Ao centralizar recursos em grandes data centers otimizados, a computação em nuvem permite uma utilização mais eficiente da energia e recursos. Estudos indicam que a migração para a nuvem pode reduzir significativamente o consumo energético e as emissões de carbono associadas à operação de data centers privados (Baliga *et al.* 2011). Além disso, os provedores de serviços em nuvem estão cada vez mais investindo em tecnologias de energia renovável e práticas de eficiência energética para tornar suas operações mais sustentáveis.

Este trabalho tem como objetivo explorar a interseção entre a computação em nuvem e a TI verde, destacando os benefícios ambientais proporcionados pela adoção dessas práticas. Por meio da análise de estudos de caso e de pesquisas recentes, serão investigadas as principais estratégias utilizadas para reduzir a pegada ecológica de organizações que utilizam a computação em nuvem. A metodologia adotada envolve a revisão de literatura e a análise de dados documentados em estudos anteriores, buscando evidenciar os impactos da computação

em nuvem e a sustentabilidade do setor de TI. O objetivo é proporcionar uma compreensão de como a computação em nuvem pode atuar no setor de TI.

2 JUSTIFICATIVA

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a degradação ambiental tem impulsionado a busca por práticas sustentáveis em todos os setores da economia, incluindo o setor de tecnologia da informação e comunicação (TIC). No contexto desse trabalho, questiona-se como a computação em nuvem pode contribuir para a sustentabilidade e redução da pegada de carbono nas organizações. Essa pergunta norteia a investigação apresentada, buscando explorar a conexão entre computação em nuvem e TI verde.

A computação em nuvem oferece potencial para transformar o setor de TIC ao possibilitar maior eficiência no uso de recursos e energia, quando comparada à infraestrutura de TI tradicional. De acordo com Berl *et al.* (2010), data centers otimizados para computação em nuvem podem ser significativamente mais eficientes em termos energéticos. Paralelamente, a TI verde, descrita por Murugesan (2008) como um conjunto de práticas que reduzem o impacto ambiental dos produtos de TI, representa uma abordagem complementar na busca pela sustentabilidade.

Neste trabalho são apresentados estudos de caso ilustram como empresas ao redor do mundo têm explorado a computação em nuvem e TI verde.

Este trabalho não pretende fornecer respostas conclusivas, mas sim apresentar, a partir da análise de casos e literatura, experiências de computação em nuvem e a transformação sustentável no setor de TIC. Assim, a justificativa para este estudo reside na relevância crescente de práticas ambientalmente responsáveis em um contexto global de intensificação das mudanças climáticas e metas de redução de emissões.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a relação entre a computação em nuvem e a TI verde, destacando os benefícios ambientais proporcionados pela adoção dessas práticas e como elas podem contribuir para a sustentabilidade no setor de tecnologia da informação e comunicação (TIC).

3.2 Objetivos específicos

- Explorar os conceitos fundamentais da computação em nuvem e TI verde, contextualizando suas interseções e identificando as tecnologias de nuvem que promovem a sustentabilidade.
- Avaliar os benefícios econômicos e ambientais da migração para a computação em nuvem, comparando os custos e a eficiência energética com infraestruturas de TI tradicionais.
- Investigar o impacto da computação em nuvem na redução do consumo energético e nas emissões de carbono, através de estudos de caso e análise de estratégias adotadas por provedores de serviços de nuvem.
- Propor melhores práticas para a adoção de atividades sustentáveis em TI, com foco na computação em nuvem, e sugerir políticas que incentivem a eficiência energética e a redução de emissões.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Computação em nuvem

Segundo o *National Institute of Standards and Technology* (NIST), a Computação em Nuvem é definida como um modelo que permite acesso facilitado e sob demanda, de qualquer lugar, a um conjunto compartilhado de recursos computacionais, como redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços. Esses recursos podem ser provisionados rapidamente e liberados com um nível reduzido de gerenciamento ou interação direta com o fornecedor do serviço (Mell; Grance, 2011). Entre os benefícios que podem ser obtidos por meio da Computação em Nuvem destacam-se a redução de custos, a economia de energia e a rápida implantação.

O modelo de nuvem é caracterizado pelo autoatendimento sob demanda que envolve capacidades de computação, como tempo de servidor e armazenamento em rede, sem necessitar da interação humana com cada prestador de serviço. O amplo acesso à rede é disponibilizado e acessado por meio de plataformas-cliente heterogêneas independente da capacidade de processamento. Os recursos de computação - armazenamento, processamento, memória e largura de banda de rede - são agrupados para atender vários consumidores com diferentes recursos físicos e virtuais que são atribuídos conforme a demanda. A capacidade liberada é elástica para que se ajuste à escala da demanda e os sistemas otimizam e controlam de forma automática o uso dos recursos.

A computação em nuvem pode ser categorizada em três principais modelos de serviço: *Software as a Service* (SaaS), *Platform as a Service* (PaaS) e *Infrastructure as a Service* (IaaS). Cada um desses modelos oferece diferentes níveis de controle e gerenciamento dos recursos, permitindo que as organizações escolham a solução mais adequada às suas necessidades. Além disso, a computação em nuvem pode ser implementada em diferentes modelos de implantação, como nuvens públicas, privadas e híbridas, cada uma com suas próprias vantagens e desafios (Armbrust *et al.*, 2010).

4.1.1 Modelos de implantação de nuvem

Os serviços em nuvem podem ser implantados ou organizados de várias maneiras. A necessidade da organização consumidora determina a escolha da implantação. O modelo de implantação define a utilidade de uma nuvem e os limites de acesso. Além disso, o modelo apresenta a localização relativa da nuvem e da organização do consumidor. De acordo com a definição do NIST, existem quatro modelos de implantação comuns: privado, público, comunitário e híbrido. Todas as nuvens pertencem a uma das quatro categorias mencionadas acima. (Bhowmik, 2020).

4.1.1.1 Nuvem pública

A forma de aplicação da nuvem pública possui a maior variedade de possibilidades de acesso para os usuários em comparação com todas as formas de implementação de nuvem. Qualquer pessoa que realize o registro tem a oportunidade de utilizar esse serviço de nuvem. O usuário pode ser um indivíduo sozinho ou um grupo de pessoas que representam uma determinada organização ou companhia. A nuvem pública também é conhecida como nuvem externa, pois está localizada fisicamente fora das instalações e os usuários conseguem acessar os serviços de forma remota.

Um provedor de serviços de computação é responsável por hospedar e gerenciar uma nuvem pública, por meio de data centers que fornecem o serviço aos usuários. Os usuários desse modelo de nuvem não precisam se preocupar com a administração da infraestrutura nem com problemas de gerenciamento do sistema. No entanto, em contrapartida, possuem pouco controle sobre a nuvem em si. Alguns exemplos de nuvens públicas populares são *Amazon Web Services*, *Google Cloud*, *Microsoft Azure* e *Salesforce.com*. (Bhowmik, 2020)

A utilização da nuvem pública possibilita a compartilhamento em larga escala. A mesma capacidade de processamento físico pode ser dividida entre diversos usuários sem conexão entre si. Esse cenário apresenta benefícios significativos, já que permite que um único provedor de nuvem sirva a uma grande quantidade de clientes. Quando vários consumidores ao redor do mundo compartilham recursos de um único data center de um fornecedor, a utilização dos recursos é aumentada automaticamente e os custos de prestação

de serviços são reduzidos. Sendo assim, a principal vantagem para os consumidores no uso da nuvem pública é a economia financeira proporcionada.

As empresas de serviços de nuvem pública, em contrapartida, exploram a escala de suas operações. Com um grande volume de negócios, podem investir em tecnologia de ponta e pessoal altamente capacitado, garantindo assim uma prestação de serviço de melhor qualidade. Por meio desse modelo, os clientes podem usufruir de um serviço potencialmente superior a um preço mais baixo. Devido às diferentes demandas de carga de trabalho dos consumidores ao redor do mundo em diversos momentos, um provedor de nuvem sempre consegue lidar de forma eficiente com picos de demanda, que ocorrem quando uma seção específica de seus clientes precisa de mais recursos. (Bhowmik, 2020).

4.1.1.2 Nuvem privada

A nuvem privada não está acessível a todos, sendo destinada principalmente ao uso organizacional, não sendo disponível para o público em geral. Conhecida como nuvem interna, é projetada para atender às necessidades internas das organizações. Enquanto a nuvem privada atende aos objetivos das organizações, as nuvens públicas são úteis tanto para indivíduos quanto para organizações. Recomenda-se a nuvem privada para sistemas altamente seguros e críticos, como os utilizados por organizações de defesa. (Bhowmik, 2020)

A Nuvem Privada é definida como um ambiente de nuvem que é operado exclusivamente para uma única organização. Ela pode ser gerenciada internamente pela própria organização ou por um terceiro, e pode ser hospedada tanto on-premises (nas instalações da empresa) quanto em um data center de terceiros. Independentemente da localização, a infraestrutura de uma Nuvem Privada é dedicada e não é compartilhada com outras organizações, o que proporciona um nível mais alto de segurança e controle (Mell; Grance, 2011).

Uma grande diferença entre a nuvem pública e a nuvem privada é que a primeira mantém uma relação um-para-um com o consumidor, enquanto a segunda mantém uma relação um-para-muitos. Isso demonstra que os recursos da nuvem privada são exclusivos para uma organização consumidora e não podem ser compartilhados com outras organizações.

Como resultado, os recursos de multilocação - em que os locatários são entidades externas não relacionadas - não se aplicam tanto na nuvem privada quanto na nuvem pública. No entanto, esse tipo de afastamento torna o ambiente de computação mais seguro e protege a privacidade. Mas isso não significa necessariamente que a nuvem pública não é suficientemente segura.

A capacidade do consumidor de controlar a nuvem é outro diferenciador. Os consumidores não têm controle sobre um ambiente na nuvem pública. No entanto, os consumidores podem ter controle sobre o ambiente enquanto se beneficiam da maioria das vantagens da computação em nuvem. É mais caro para os consumidores usar a nuvem privada do que a nuvem pública porque os recursos são reservados para uma organização específica.

4.1.1.3 Nuvem comunitária

O modelo de implementação de nuvem comunitária oferece acesso a várias organizações ou consumidores que fazem parte de uma mesma comunidade, sendo projetado para atender a um propósito comum e específico. Ele é destinado a uma comunidade de pessoas ou organizações que compartilham preocupações comuns em termos de funcionalidades de negócios, requisitos de segurança, entre outros. Esse modelo permite o compartilhamento de infraestrutura e recursos entre vários consumidores da mesma comunidade, resultando em um custo mais baixo em comparação com uma nuvem privada. (Bhowmik, 2020)

A nuvem comunitária pode ser implementada tanto *on-premises* quanto *off-premises*, ou seja, pode estar fisicamente localizada nas instalações de um dos membros da comunidade ou em um local externo. Assim como a nuvem privada, a nuvem comunitária pode ser gerida por uma das organizações participantes ou por um fornecedor externo de serviços de computação.

Este modelo de nuvem é uma forma ampliada da nuvem privada. Enquanto a nuvem privada é acessível a apenas um consumidor, a nuvem comunitária é utilizada por diversos consumidores de uma mesma comunidade. Dessa forma, esse modelo de implementação suporta a multilocação, embora em um grau menor do que a nuvem pública, que permite a utilização por vários locatários não relacionados entre si. Assim, a nuvem comunitária fica entre a nuvem privada e a pública em termos de modelo de locação.

O objetivo da nuvem comunitária é oferecer os benefícios da nuvem pública, como a multilocação e a cobrança por uso, aos seus consumidores, mas com um nível adicional de privacidade e segurança, semelhante à nuvem privada. Um exemplo comum de nuvem comunitária são os serviços de nuvem disponibilizados pelo governo para suas agências nacionais, onde essas agências são os consumidores pertencentes a uma única comunidade, no caso, o governo. (Bhowmik, 2020)

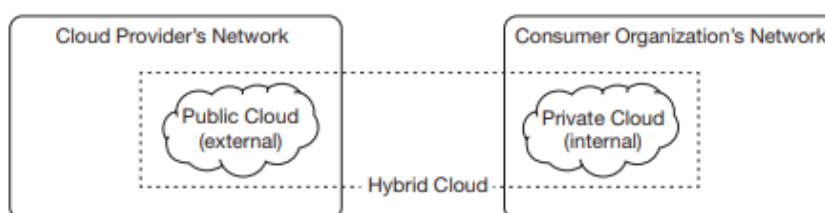
4.1.1.4 Nuvem híbrida

A infraestrutura de nuvem híbrida é caracterizada como a combinação de diferentes tipos de nuvens (privada, pública ou comunitária) que, apesar de funcionarem como entidades separadas, estão interligadas por tecnologias padronizadas ou proprietárias. Essas tecnologias permitem a integração, a portabilidade de dados e a interoperabilidade de aplicativos entre as diferentes nuvens (Mell; Grance, 2011).

Este modelo de implementação ajuda as empresas a aproveitar as vantagens da nuvem privada ou comunitária armazenando aplicativos e dados críticos. Ao mesmo tempo, ele fornece benefício de custo, mantendo dados e aplicativos compartilhados na nuvem pública.

Na prática, a nuvem híbrida (Figura 1) pode ser formada combinando dois elementos de um conjunto de cinco implementações diferentes, como nuvem privada *on-premises*, nuvem privada *off-premises*, nuvem comunitária *on-premises*, nuvem comunitária *off-premises* e nuvem pública, onde um entre os quatro primeiros implementações é combinado com o último.

Figura 1 - Exemplo de nuvem híbrida



Fonte: BHOWMIK (2017)

4.1.2 *Modelos de serviço*

O modelo de computação em nuvem do NIST olha para a metodologia de computação desde dois pontos de vista: serviço e implantação. A nuvem pode ser implantada de quatro maneiras diferentes, mas os serviços que ela oferece são principalmente divididos em três categorias. Além dos três serviços de nuvem primários, os fornecedores de computação fornecem uma variedade de serviços de nuvem especializados que são considerados serviços especiais dentro desses três serviços primários. Para entender como a computação em nuvem pode ser útil para os clientes, é fundamental entender os benefícios que ela oferece.

Existem muitos fornecedores que oferecem diferentes serviços em nuvem no mercado hoje. Junto com serviços de nuvem pública proprietários, muitas iniciativas de código aberto também estão disponíveis, com foco principal na criação de ambientes de nuvem privada e híbrida. (Bhowmik, 2020)

4.1.2.1 *Infrastructure as a service*

A computação em nuvem oferece diversos modelos de serviços que permitem às organizações escolher a solução mais adequada para suas necessidades específicas. Os três principais modelos de serviços são: Infraestrutura como Serviço (IaaS), Plataforma como Serviço (PaaS) e Software como Serviço (SaaS). Cada um desses modelos oferece um nível diferente de controle, flexibilidade e gerenciamento, proporcionando uma gama de opções para empresas de todos os tamanhos.

A Infraestrutura como Serviço (IaaS) fornece recursos de computação fundamentais, como processamento, armazenamento e redes, sob demanda, geralmente cobrados pelo uso. Esse modelo permite que as empresas aluguem servidores, armazenamento e outros componentes de infraestrutura de TI de um provedor de nuvem, em vez de adquirirem e manterem sua própria infraestrutura física. Os usuários do IaaS podem instalar e gerenciar seus sistemas operacionais, aplicativos e ambientes de desenvolvimento.

Uma das principais vantagens do IaaS é a escalabilidade. Empresas podem aumentar ou diminuir a capacidade de seus recursos conforme necessário, pagando apenas pelo que

utilizam. Isso é particularmente útil para organizações que experimentam variações sazonais ou picos de demanda. Além disso, o IaaS reduz os custos de capital associados à compra e manutenção de hardware (Armbrust *et al.*, 2010).

Exemplos populares de provedores de IaaS incluem *Amazon Web Services (AWS)*, *Microsoft Azure* e *Google Cloud Platform (GCP)*. Esses serviços oferecem uma ampla gama de opções de infraestrutura, como máquinas virtuais, armazenamento de dados e redes virtuais, que podem ser configurados e gerenciados conforme necessário.

4.1.2.2 Platform as a service

A Plataforma como Serviço (PaaS) fornece um ambiente de desenvolvimento e implantação completo na nuvem. Ele inclui não apenas a infraestrutura subjacente, mas também ferramentas e serviços que permitem aos desenvolvedores criar, testar e implementar aplicativos rapidamente. O PaaS abstrai a camada de infraestrutura e permite que os desenvolvedores se concentrem no desenvolvimento de software, sem se preocupar com a gestão do *hardware* e do sistema operacional.

O PaaS oferece várias vantagens, incluindo aumento da produtividade, já que os desenvolvedores podem se concentrar no código e na lógica de negócios sem se preocupar com a configuração e o gerenciamento da infraestrutura. Além disso, o PaaS facilita a colaboração entre equipes distribuídas, fornecendo um ambiente de desenvolvimento comum e ferramentas integradas para gerenciamento de ciclo de vida de aplicativos (Vaquero *et al*, 2008).

Entre os exemplos de provedores de PaaS estão *Google App Engine*, *Microsoft Azure App Services* e *Heroku*. Esses serviços permitem que os desenvolvedores criem e implementem aplicativos em várias linguagens de programação e *frameworks*, com suporte integrado para banco de dados, armazenamento e serviços de rede.

4.1.2.3 Software as a service

O Software como Serviço (SaaS) é um modelo de distribuição de *software* onde os aplicativos são hospedados por um provedor de serviços e disponibilizados aos clientes pela

internet. Os usuários podem acessar o software diretamente através de um navegador web, sem a necessidade de instalação, manutenção ou atualização do software em seus dispositivos locais.

O SaaS oferece várias vantagens significativas, incluindo a eliminação da necessidade de instalação e manutenção de software local, o que reduz os custos de TI e simplifica a gestão. Além disso, os provedores de SaaS geralmente oferecem atualizações automáticas, garantindo que os usuários tenham sempre acesso às versões mais recentes dos aplicativos. Outro benefício é a acessibilidade, já que os aplicativos SaaS podem ser acessados de qualquer lugar com uma conexão à internet. Alguns dos exemplos mais conhecidos de SaaS incluem *Salesforce*, *Google Workspace* (antigo G Suite) e *Microsoft Office 365*. Esses serviços oferecem uma ampla gama de aplicativos empresariais, desde CRM e produtividade até comunicação e colaboração, todos entregues através da web. (Armbrust *et al*, 2010).

4.1.3 *Segurança*

Segurança da nuvem refere-se a políticas de segurança cibernética, práticas recomendadas, controles e tecnologias usadas para proteger aplicativos, dados e infraestrutura em ambientes de nuvem. Em particular, a segurança da nuvem oferece proteção de rede e armazenamento contra ameaças internas e externas, gerenciamento de acesso, governança e conformidade de dados e recuperação de desastres.

Os provedores de serviços de nuvem (CSPs) geralmente seguem um modelo de responsabilidade compartilhada, o que significa que a implementação da segurança da computação em nuvem é responsabilidade do provedor de nuvem e do assinante.

O provedor é responsável por proteger a infraestrutura subjacente da nuvem, incluindo hardware, software, redes e instalações físicas. Isso inclui garantir a segurança física dos data centers, a segurança da rede que conecta esses data centers, e a implementação de medidas de segurança básicas, como *firewalls*, controle de acesso físico e virtual, e medidas de recuperação de desastres. O provedor deve garantir que a infraestrutura da nuvem esteja em conformidade com as regulamentações relevantes, como GDPR, HIPAA, e outras normas de segurança e privacidade.

O cliente é responsável por gerenciar a segurança dos dados, aplicativos e serviços que são executados na nuvem. Isso inclui a configuração correta dos recursos da nuvem, o gerenciamento de identidades e acessos (IAM), a proteção dos dados por meio de criptografia e a implementação de políticas de segurança, como autenticação multifator (MFA) e controle de acesso rigoroso. O cliente deve garantir que suas configurações na nuvem estejam seguras, evitando configurações incorretas que possam expor dados ou permitir acessos não autorizados. Ferramentas de monitoramento e automação são frequentemente usadas para ajudar nessa tarefa.

O *Cloud* sofre riscos de segurança semelhantes aos que você enfrenta em ambientes tradicionais, como ameaças internas, violação e perda de dados, *phishing*, *malware*, ataques DDoS e APIs vulneráveis.

4.1.3.1 Riscos e desafios de segurança ne nuvem.

Os recursos baseados na nuvem são executados em uma infraestrutura que fica fora da rede corporativa e pertence a terceiros. Como resultado, as ferramentas tradicionais de visibilidade de rede não são adequadas para ambientes em nuvem, o que dificulta a supervisão de todos os recursos da nuvem, de como eles estão sendo acessados e de quem tem acesso a eles.

Configurações incorretas de segurança da nuvem são uma das principais causas de violações de dados em ambientes de nuvem. Os serviços baseados na nuvem facilitam o acesso e o compartilhamento de dados, mas muitas organizações podem não ter uma compreensão completa de como proteger a infraestrutura em nuvem. Isso pode levar a configurações incorretas, como deixar as senhas padrão, não ativar a criptografia de dados ou gerenciar incorretamente os controles de permissão.

As implantações do *Cloud* podem ser acessadas diretamente usando a Internet pública, o que permite o acesso conveniente de qualquer local ou dispositivo. Ao mesmo tempo, também significa que invasores conseguem recursos mais facilmente com credenciais comprometidas ou controle de acesso inadequado.

A nuvem adiciona outra camada de requisitos de conformidade regulatória e interna que você pode violar, mesmo se não ocorrer uma violação de segurança. Gerenciar a conformidade na nuvem é um processo desgastante e contínuo. Ao contrário de um data

center local, em que você tem controle total sobre seus dados e como eles são acessados, as empresas têm mais dificuldade para identificar de maneira consistente todos os recursos e controles de nuvem, mapeá-los para requisitos relevantes e documentar tudo corretamente.

4.1.3.2 Benefícios da segurança na nuvem

Embora a segurança da nuvem tenha sido frequentemente colocada como uma barreira para a adoção da nuvem, a realidade é que a nuvem não é mais nem menos segura do que a segurança local. Na verdade, a segurança da computação em nuvem oferece muitas vantagens para empresas que podem melhorar sua postura geral de segurança.

Os principais provedores de nuvem têm infraestrutura com segurança incorporada ao design e segurança em camadas que é integrada diretamente à plataforma e aos serviços dela, incluindo tudo, desde arquitetura de rede de confiança zero até gerenciamento de identidade e acesso para autenticação multifator, criptografia, geração de registros e monitoramento contínuos. Além disso, a nuvem ajuda você a automatizar e gerenciar a segurança em uma escala enorme.

Somente uma pilha de segurança integrada na nuvem é capaz de fornecer a visibilidade centralizada de recursos e dados em nuvem, que é vital para a proteção contra violações e outras possíveis ameaças. A segurança do *Cloud* pode fornecer as ferramentas, tecnologias e processos para registrar, monitorar e analisar eventos para entender exatamente o que está acontecendo nos seus ambientes de nuvem.

A segurança na nuvem permite consolidar a proteção de redes baseadas na nuvem para um monitoramento e análise contínuos e simplificados de vários dispositivos, endpoints e sistemas. Ele também permite que você gerencie centralmente atualizações e políticas de software em um só lugar, e até mesmo implemente e realize planos de recuperação de desastres.

Os melhores provedores de computação em nuvem oferecem segurança de dados incorporada ao design por padrão, oferecendo controle de acesso fortes, criptografia para dados em repouso e em trânsito e Prevenção contra perda de dados (DLP) para proteger dados na nuvem em qualquer lugar que eles estão localizados ou são gerenciados.

Os CSPs respeitáveis também investem em tecnologias de ponta e especialistas altamente qualificados para fornecer inteligência global contra ameaças em tempo real que

pode detectar ameaças conhecidas e desconhecidas em tempo real e nas suas redes para uma correção mais rápida.

4.2 Efeito estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural essencial para a manutenção da vida na Terra, pois garante que o planeta mantenha temperaturas adequadas para a existência de diversos ecossistemas. Esse processo ocorre quando determinados gases na atmosfera, conhecidos como gases de efeito estufa (GEE), capturam a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre e a reemitem de volta, aquecendo o planeta. Entre os principais gases de efeito estufa estão o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e os clorofluorocarbonos (CFCs) (Pachauri; Meyer, 2014).

A preocupação com o efeito estufa intensificou-se com a Revolução Industrial, período que marcou o aumento significativo das atividades humanas que emitem GEE, como a queima de combustíveis fósseis, a agricultura intensiva e o desmatamento. Dentre essas atividades e outras, têm contribuído para um aumento substancial na concentração desses gases na atmosfera, resultando em um aquecimento global sem precedentes (NASA SCIENCE, 2024).

O aumento da temperatura média global tem consequências severas para o meio ambiente e a humanidade. Entre os impactos mais notáveis estão a elevação do nível do mar, o derretimento de geleiras e calotas polares, alterações nos padrões de precipitação, e eventos climáticos extremos mais frequentes e intensos, como furacões, secas e inundações Hansen *et al* (2006). Esses efeitos não apenas ameaçam a biodiversidade e os ecossistemas, mas também têm implicações econômicas e sociais significativas, afetando a segurança alimentar, a saúde pública e a infraestrutura.

Estudos científicos indicam que a mitigação do efeito estufa requer ações coordenadas a nível global para reduzir as emissões de GEE e promover práticas sustentáveis. A adoção de tecnologias limpas, a transição para fontes de energia renovável e a implementação de políticas públicas voltadas para a preservação ambiental são algumas das medidas necessárias para enfrentar esse desafio (Masson-Delmotte, 2018).

4.3 Aquecimento global

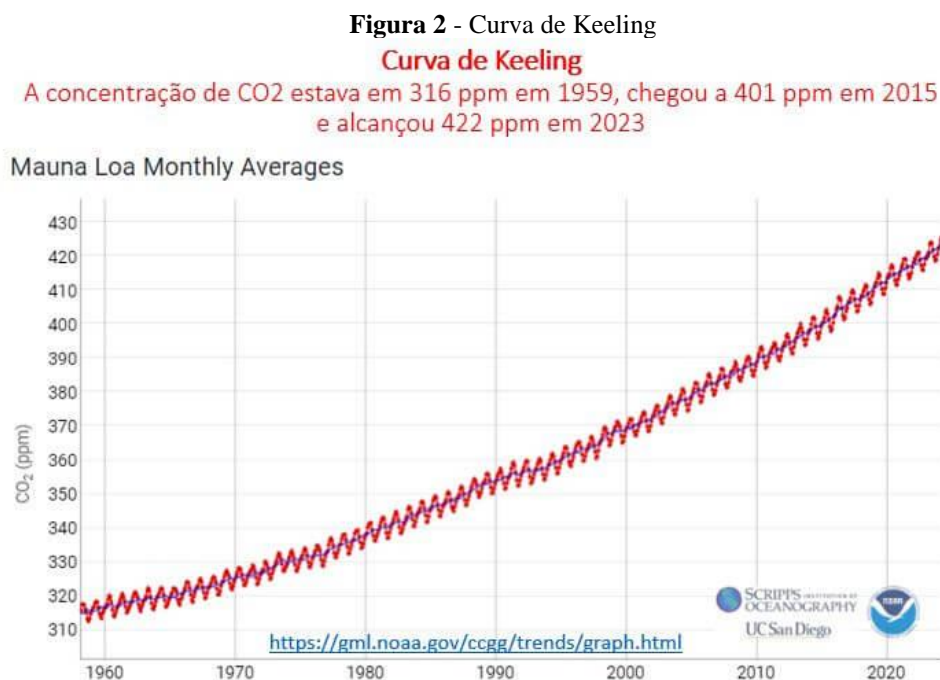
O debate sobre as mudanças climáticas frequentemente se concentra nos termos utilizados para descrever a gravidade e a natureza dos impactos ambientais causados pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Tradicionalmente, o termo "aquecimento global" tem sido amplamente utilizado para descrever o aumento gradual da temperatura média da Terra, resultante da concentração crescente de GEE na atmosfera. No entanto, à medida que os efeitos das mudanças climáticas se tornam mais severos e imediatos, alguns cientistas e ativistas sugerem que o termo "ebulição global" pode ser mais apropriado para capturar a urgência e a magnitude do problema.

Este fenômeno tem sido documentado extensivamente desde a Revolução Industrial, com a queima de combustíveis fósseis e outras atividades humanas contribuindo significativamente para a elevação dos níveis de CO₂ e outros GEE na atmosfera (Hansen *et al*, 2006). As consequências do aquecimento global são bem conhecidas: derretimento de geleiras, elevação do nível do mar, acidificação dos oceanos e mudanças nos padrões climáticos globais, incluindo eventos climáticos extremos como furacões, secas e inundações Pachauri; Meye (2014). A humanidade está a poucos anos de presenciar um cenário em que as mudanças climáticas não apenas aquecem o planeta de maneira gradual, mas também provocam mudanças catastróficas e abruptas nos sistemas climáticos da Terra. Enfatiza a possibilidade de alcançar pontos de inflexão irreversíveis, onde mudanças rápidas e intensas podem ocorrer, levando a condições climáticas extremas que desafiam a capacidade de adaptação das sociedades humanas e dos ecossistemas naturais (Lenton *et al*, 2019).

4.4 Emergência climática

Em 1958, o cientista Charles Keeling instalou o primeiro equipamento para medir as concentrações de CO₂ na atmosfera no topo do vulcão Mauna Loa. Isso permitiu a medição direta da concentração de gases de efeito estufa (GEE) usando dados confiáveis. A série da curva de Keeling mostra que a concentração média anual de CO₂ na atmosfera era de 316

ppm em 1959. Em 2015, ano do Acordo de Paris, aumentou para 401 ppm e chegou a 422 ppm em 2023, como mostra o gráfico abaixo.



Fonte: <https://www.ecodebate.com.br>

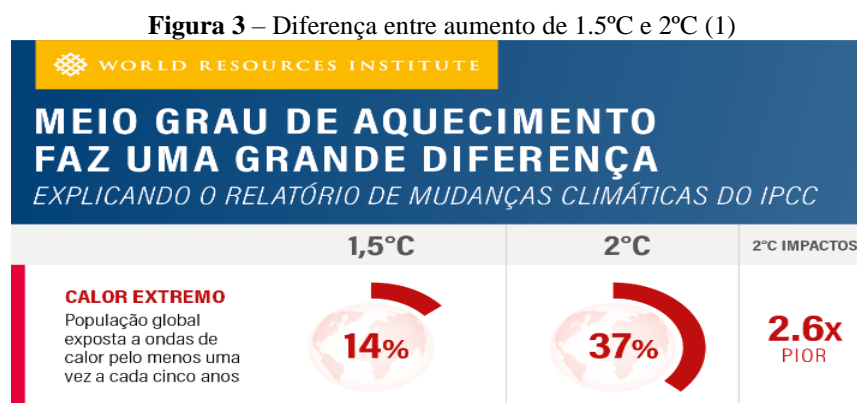
A curva de Keeling mostra um crescimento exponencial incomum. Nunca houve uma concentração superior a 420 ppm de CO₂ na atmosfera nos últimos 14 milhões de anos. (Alves, 2024). O artigo *"Toward a Cenozoic history of atmospheric CO₂"*, publicado na revista acadêmica Science em 8 de dezembro de 2023, afirma que a última vez que a atmosfera registrou 420 partes por milhão (ppm) de dióxido de carbono foi entre 14 e 16 milhões de anos atrás, quando a Groenlândia não era gelada e os antepassados mais próximos da humanidade (hominídeos) ainda não existiam. A pesquisa recente indica que essa concentração elevada de dióxido de carbono é muito mais antiga do que os 3 a 5 milhões de anos relatados por estudos anteriores. (Alves, 2024)

Quando o Acordo de Paris foi discutido em 2015, o objetivo era reduzir as emissões de gases de efeito estufa e reduzir o ritmo de aumento da concentração de CO₂ na atmosfera. Por outro lado, o Acordo de Paris fixou um limite máximo de 2°C para a temperatura média global.

O IPCC, um grupo que reúne os principais cientistas climáticos do mundo, trabalhou com base em uma solicitação dos governos para avaliar como os efeitos de um aumento de 1,5°C variam de 2°C e o que deve ser alterado nas emissões de gases de efeito estufa em cada situação.

Sua pesquisa mostra que mesmo com 1,5 graus Celsius de aquecimento, o planeta enfrentará graves impactos climáticos, e os efeitos pioram significativamente com 2 graus Celsius. A temperatura média global já aumentou cerca de 1°C, e até 2030, o orçamento de carbono será esgotado para um cenário de 1,5°C.

Podemos aferir no gráfico a seguir, produzido pela WRI Brasil, (World Resources Institute) o quão significativo pode ser o aumento de 0,5 °C na temperatura média global.



Fonte: Adaptação de LEVIN (2018)

Na figura 3 é possível analisar que as temperaturas médias e extremas aumentarão em cenários de aquecimento de 2°C ou 1,5°C. Isso se aplica a todas as áreas habitadas do mundo. Por exemplo, se o clima aumentasse 1,5°C, quase 14% da população global seriam expostas a ondas de calor intensas pelo menos uma vez a cada cinco anos. Em contraste, se o aquecimento fosse de 2°C, 37% da população mundial seria exposta a ondas de calor intensas pelo menos uma vez a cada cinco anos. Sob 2°C de aquecimento no Mediterrâneo e na África Austral, o risco de aumento da magnitude e frequência de secas é significativamente maior do que sob 1,5°C. (Levin, 2018)



Fonte: Adaptação de LEVIN, 2018

Sob 2°C de aquecimento, as chuvas devem ser mais intensas em áreas montanhosas e de alta latitude, como a Ásia Oriental e a região leste da América do Norte, do que sob 1,5°C. A temperatura de 1,5°C pode causar um aumento de enchentes em algumas áreas em comparação com as condições atuais, enquanto a temperatura de 2°C pode causar um aumento ainda pior.

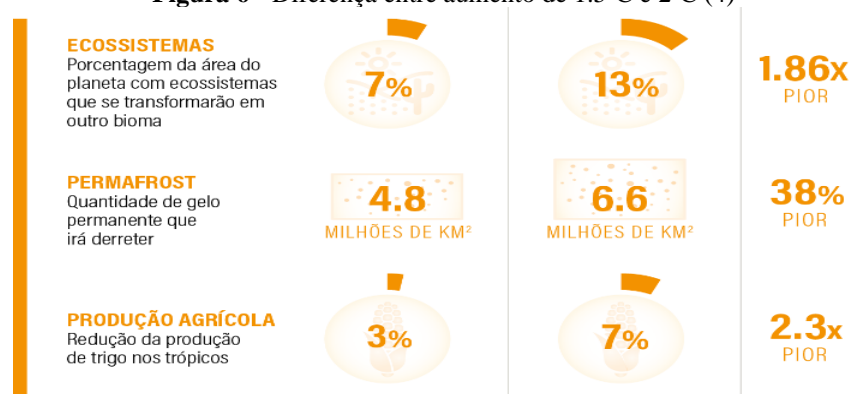
O relatório indica que, com 1,5°C, é muito provável que no Ártico ocorra um verão livre de gelo (quando a cobertura total de gelo marinho cai a menos de 1 milhão de quilômetros quadrados) a cada 100 anos. A frequência aumenta para pelo menos um a cada dez anos em um ambiente de 2°C. Isso pode provocar um aumento na absorção de calor, alterar a circulação oceânica e alterar o clima de inverno no hemisfério norte.

Ao aquecer a 1,5°C, o nível do mar aumentaria 40 centímetros até 2100, em comparação com os níveis de 1986 a 2005. Até 2100, seriam 46 centímetros à temperatura de 2°C. O aumento das temperaturas aumenta o risco de inundações. Com um aquecimento de 1,5°C até 2100, até 69 milhões de pessoas podem ser afetadas por inundações. Isso é feito assumindo que não haverá adaptação da população atual. Em caso de aquecimento a 2°C, até 79 milhões de pessoas podem estar expostas. (Figura 4) (Levin, 2018)

Figura 5 - Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (3)

Fonte: Adaptação de LEVIN, 2018

Ao aquecer a 2oC, 18% dos insetos, 16% das plantas e 8% dos vertebrados desaparecerão de mais da metade de suas áreas. Incêndios florestais e propagação de doenças e pragas também diminuem se o aquecimento se mantiver em 1,5°C. (Figura 5) (Levin, 2018)

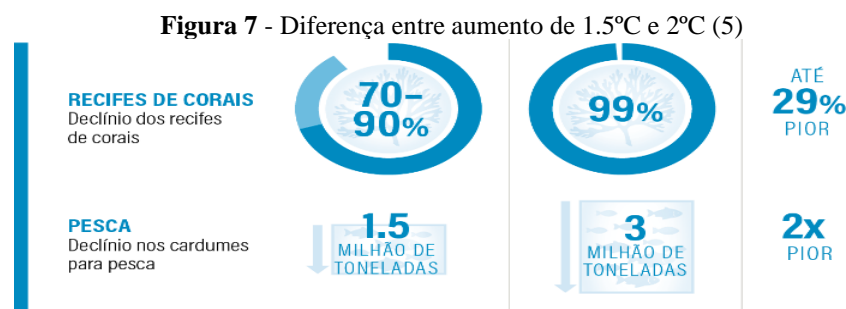
Figura 6 - Diferença entre aumento de 1.5°C e 2°C (4)

Fonte: Adaptação de LEVIN, 2018

O aquecimento acelerará a transformação dos ecossistemas. Por exemplo, com um aquecimento de 2°C, é projetado que 13% da área terrestre experimentará mudanças ou transformações de biomas. As tundras podem se transformar em florestas, por exemplo. Esse risco é reduzido para 4% da área terrestre em 1,5°C. (Levin, 2018)

O *permafrost* corre maior risco de derreter à medida que as temperaturas aumentam, o que resulta na liberação do carbono armazenado para a atmosfera. Ao aquecer em 2°C, 35% a 47% do *permafrost* do Ártico derreteria até 2100, ocupando uma área de terra que equivale a

três quartos da Austrália. A área total do *permafrost* cairia para 4,8 milhões de quilômetros quadrados, ou entre 21% e 37% da área total, se o aquecimento fosse limitado a 1,5°C. (Figura 6) (Levin, 2018)



Fonte: Adaptação de LEVIN, 2018

Mesmo com um aquecimento de 1,5°C, os ecossistemas marítimos já estão passando por transformações significativas. Mas limitar o aquecimento a 1,5°C pode evitar muitos dos efeitos negativos das altas temperaturas. Por exemplo, com um aquecimento de 1,5°C, os recifes de coral devem diminuir de setenta a noventa por cento. As perdas esperadas aumentariam a mais de 99 por cento se o aquecimento aumentasse meio grau. O aquecimento de 1,5°C é projetado para agravar a queda de produtividade da pesca em baixas latitudes, acidificação, zonas mortas e outras condições perigosas. Por exemplo, um estudo citado no relatório descobriu que, com um aquecimento de 1,5°C, a captura anual da pesca marinha no mundo diminuiria em 1,5 milhão de toneladas; sob 2°C, essa perda aumentaria para 3 milhões de toneladas. (Figura 7)

O objetivo de limitar o aquecimento a 2°C seria reduzir as emissões anuais em cerca de 20% em comparação com os níveis de 2010 a 2030. As emissões devem diminuir de 40% a 50% para 1,5°C. Por volta de 2050, as emissões líquidas de dióxido de carbono devem chegar a zero para limitar o aquecimento a 1,5°C e por volta de 2075 para limitar a 2°C.

Limitar o aquecimento global a 2°C evitará vários efeitos devastadores da mudança climática, mas os efeitos seriam muito piores se pudéssemos limitá-lo a 1,5°C. A necessidade de adaptação aumenta com a temperatura. Essa diferença de meio grau exigirá muito trabalho. No entanto, o relatório do IPCC indica que o trabalho resultará em economias, ecossistemas e indivíduos mais seguros. (Levin, 2018)

4.5 TI verde

A TI verde refere-se ao uso de tecnologias e práticas de TI que minimizem os impactos ambientais negativos ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos de TI, desde a sua concepção e fabricação, a sua utilização e até o descarte. Essa abordagem busca reduzir o consumo de energia, as emissões de gases de efeito estufa e o desperdício eletrônico, promovendo a sustentabilidade ambiental e econômica (Murugesan, 2008).

As práticas de TI verde incluem a adoção de tecnologias de energia renovável, a otimização da eficiência energética dos data centers, o design de produtos ecoeficientes, e a implementação de políticas de reciclagem e reuso. Além disso, a TI verde enfatiza a importância da responsabilidade social corporativa e a necessidade de integrar considerações ambientais nas decisões estratégicas das organizações.

4.6 Relação entre computação em nuvem e TI verde

A integração da computação em nuvem com práticas de TI verde pode resultar em uma redução de danos ambientais significativos. Data centers otimizados para a computação em nuvem podem utilizar tecnologias avançadas de resfriamento, balanceamento de carga e gerenciamento de energia, resultando em uma utilização mais eficiente dos recursos e uma redução no consumo de energia (Berl *et al*, 2010). Além disso, a centralização dos recursos em grandes data centers permite uma melhor alocação e utilização dos mesmos, reduzindo a necessidade de hardware redundante e o desperdício eletrônico.

Um estudo realizado pela Accenture comprova que a migração para a nuvem pública pode reduzir as emissões de carbono no setor de TI em aproximadamente 5,9%. Esta economia, em uma ano, representa 59 milhões de toneladas de CO₂ e equivale à remoção de 22 milhões de carros das ruas (Lacy *et al*, 2020). Além do impacto ambiental, as soluções sustentáveis na nuvem também oferecem benefícios financeiros significativos. A análise da Accenture, baseada em dados de clientes, indica uma redução no custo total de propriedade (TCO) de até 40%, impulsionada pela maior flexibilidade na força de trabalho, otimização de servidores e infraestrutura com maior eficiência energética. Esses benefícios variam de acordo

com o provedor de nuvem, o nível de otimização, e o nível de inovações sustentáveis habilitadas (Lacy *et al*, 2020).

No entanto, apesar das vantagens, a adoção de práticas sustentáveis na computação em nuvem enfrenta desafios como a segurança de dados, conformidade regulatória e a complexidade da migração. Essas questões, no entanto, também representam oportunidades para a inovação e o desenvolvimento de novas estratégias que promovam a sustentabilidade no setor de TIC.

5 METODOLOGIA

Este trabalho adotou uma metodologia qualitativa de caráter exploratório e descritivo, com base em revisão de literatura, análise de estudos de caso e relatórios de sustentabilidade. De acordo com Creswell (2018), a pesquisa qualitativa permite compreender fenômenos em profundidade, interpretando os significados atribuídos aos dados analisados. A abordagem exploratória foi utilizada para investigar práticas de TI verde e computação em nuvem em diferentes contextos, enquanto o caráter descritivo detalhou as ações implementadas, seus benefícios e desafios (Gil, 2008).

5.1 Revisão de literatura

A primeira etapa da metodologia consiste em uma revisão extensiva da literatura. Este processo envolveu a coleta e análise de artigos científicos, livros, relatórios de mercado e documentos técnicos que abordam os temas de computação em nuvem e TI verde. A revisão de literatura permitiu:

- a. Definir e contextualizar os conceitos de computação em nuvem e TI verde e a importância da emergência climática.
- b. Identificar tecnologias e práticas relevantes, com foco nas que mais contribuem para a sustentabilidade ambiental no setor de TIC.

Para realizar essa revisão, foram utilizadas bases de dados acadêmicas como IEEE Xplore, Scielo, ScienceDirect, Google Scholar, e a biblioteca digital da Association for Computing Machinery (ACM). Critérios de inclusão e exclusão serão definidos para garantir a relevância e a qualidade das fontes selecionadas.

5.2 Pesquisa de estudos de caso

Na segunda etapa, foi realizada uma análise de estudos de caso de empresas que implementaram soluções de computação em nuvem com foco na sustentabilidade. Foram selecionadas organizações de diferentes setores, priorizando aquelas que documentaram seus

processos de migração para a nuvem e os resultados obtidos em termos de eficiência energética e redução de emissões de carbono.

Para a seleção dos estudos de caso, foram considerados critérios como a diversidade do setor industrial, a abrangência geográfica, e a disponibilidade de dados detalhados sobre o impacto ambiental das soluções implementadas. Foram analisados relatórios de sustentabilidade, white Papers e artigos com relatos de experiências.

A análise dos estudos de caso visou:

- a. Examinar a contribuição da computação em nuvem para a redução do consumo energético, em comparação com infraestruturas de TI tradicionais.
- b. Identificar práticas de TI verde adotadas pelas organizações.
- b. Avaliar as estratégias de eficiência energética e práticas de TI verde.
- c. Identificar desafios e soluções na implementação de práticas sustentáveis em nuvem.

5.3 Análise de relatórios de sustentabilidade

Nessa etapa, foram apresentadas as análises dos relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia (Big Techs), com foco em organizações que são tanto provedores de serviços de nuvem quanto usuárias de soluções baseadas em computação em nuvem. A análise busca examinar como essas empresas utilizam suas próprias infraestruturas e tecnologias para implementar práticas de sustentabilidade em seus data centers e operações.

A seleção dos relatórios considerou critérios como a relevância global da empresa no setor de tecnologia, a transparência e abrangência dos dados fornecidos, e o nível de detalhamento das iniciativas voltadas para a eficiência energética, redução de emissões de carbono e implementação de TI verde. Foram incluídos relatórios anuais de sustentabilidade, white papers e publicações técnicas que destacam estratégias relacionadas à computação em nuvem e à sustentabilidade ambiental.

Os objetivos principais dessa análise incluem:

- a. Avaliar as práticas de TI verde e estratégias de eficiência energética implementadas por grandes provedores de serviços de nuvem, identificando como essas práticas contribuem para a redução do impacto ambiental.

b. Verificar a importância e a eficácia das medidas adotadas, analisando a contribuição de cada iniciativa para a sustentabilidade e para o fortalecimento de práticas de TI responsável.

c. Sintetizar as análises dos relatórios, destacando as melhores práticas e tendências em sustentabilidade no uso de computação em nuvem, para fornecer diretrizes e recomendações aplicáveis a outras organizações.

d. Comparar os avanços e desafios enfrentados pelos provedores de nuvem, avaliando as soluções implementadas, os resultados obtidos e as barreiras encontradas na adoção de práticas de TI sustentável.

e. Identificar práticas sustentáveis específicas realizadas por provedores de serviços de nuvem, analisando como essas empresas alinham seus modelos de negócio com estratégias sustentáveis e como influenciam clientes a adotarem práticas de TI verde em suas operações.

Essa análise tem o propósito de não apenas evidenciar o papel das Big Techs como líderes em inovação tecnológica e ambiental, mas também destacar como suas iniciativas contribuem para fortalecer a relação entre computação em nuvem e sustentabilidade.

5.4 Análise comparativa

Nesta etapa, foi desenvolvido uma análise comparativa com base nos dados coletados previamente na análise dos estudos de caso abordados no trabalho. O objetivo desta análise é identificar padrões, reforçar práticas e avaliar os resultados obtidos em cada um dos casos estudados.

6 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos a partir das análises conduzidas neste trabalho. As seções a seguir abordarão a análise dos estudos de caso, a avaliação dos relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia, bem como uma análise comparativa que visa destacar os principais insights e tendências identificados.

6.1 Análise de estudos de caso

Na primeira etapa dos resultados, foi abordada a análise de estudos de caso já consolidados e publicados sobre práticas de TI verde. Esses estudos fornecem uma base sólida para compreender os benefícios e desafios que envolvem a adoção de tecnologias sustentáveis no ambiente corporativo.

6.1.1 Análise estudo de caso 1

O estudo realizado por Salles *et al.* (2016) foca em práticas de TI verde aplicadas em ambientes corporativos para melhorar a sustentabilidade e reduzir o impacto ambiental das operações de TI. A pesquisa examina a implementação de práticas como a virtualização de máquinas, digitalização de documentos, controle de impressões, descarte responsável de resíduos eletrônicos, e outras iniciativas voltadas para otimização energética e redução de emissões de carbono.

O estudo de caso destaca empresas que, ao adotar essas práticas, alcançaram benefícios significativos, como a redução do consumo de energia, diminuição de custos operacionais, e prolongamento do ciclo de vida de equipamentos. Ao mesmo tempo, o estudo aborda as dificuldades enfrentadas, como o alto custo inicial de implementação e a resistência dos colaboradores em aderir a novas práticas sustentáveis. A tabela 1 apresenta a análise de estudo de caso de Salles *et al.* desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Quadro 1 - Análise Estudo de Caso de Salles et. al (2016)

Práticas implantadas	Benefícios alcançados	Dificuldades enfrentadas
Virtualização de máquinas: Redução no número de servidores físicos, utilizando virtualização para aumentar a eficiência energética.	Redução do consumo de energia: Maior eficiência energética, diminuindo os custos de operação. Segurança e eficiência operacional: A virtualização aumentou a segurança e agilidade das operações.	Alto custo inicial: Investimento elevado em infraestrutura e consultoria especializada. Resistência à mudança: Funcionários enfrentaram dificuldades para se adaptar a novas tecnologias.
Modernização do parque tecnológico: Substituição de monitores CRT por LCD e adoção de equipamentos mais eficientes	Redução de custos operacionais: Equipamentos mais eficientes reduziram o consumo de energia.	
Digitalização de documentos: Armazenamento de arquivos digitais, reduzindo o uso de papel.	Redução do consumo de papel: Economias significativas com a eliminação de impressões desnecessárias.	Necessidade de planejamento: Definição de ferramentas de controle e metas claras foi um desafio.
Controle de impressões e impressões conscientes: Utilização de eco fontes e monitoramento de impressões.	Redução de custos com impressões: A impressão consciente diminuiu o consumo de tinta e papel.	Resistência dos funcionários: Mudança de hábitos de impressão foi um obstáculo.
Adoção de tecnologias VoIP e central telefônica: Redução de custos com telefonia.	Redução de custos com telefonia: Adoção de VoIP trouxe uma redução significativa das despesas de comunicação	Investimento inicial elevado: Implementação de VoIP demandou recursos financeiros consideráveis.
Descarte correto de	Redução do impacto	Complexidade do processo

equipamentos eletrônicos: Política de descarte sustentável de resíduos eletrônico	ambiental: A destinação adequada de resíduos eletrônicos minimizou os impactos ambientais.	de descarte: Logística e conformidade com normas ambientais foram desafios.
Reutilização de papel e peças de equipamentos: Aproveitamento de materiais recicláveis.	Aumento do ciclo de vida dos produtos: Prolongou a utilização de recursos e diminuiu o desperdício.	Planejamento de logística de reciclagem: Gerenciamento de materiais recicláveis foi um processo complexo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

6.1.2 *Análise estudos de caso 2*

O estudo de Pinto *et al.* (2021) aborda o alto consumo de energia dos data centers e seus impactos ambientais, principalmente pela emissão de gases de efeito estufa gerada no processo de produção de energia elétrica. O objetivo do trabalho é destacar as vantagens tecnológicas da TI verde aplicadas à sustentabilidade desses centros de processamento de dados. Ao implementar práticas de TI verde, três grandes empresas conseguiram reduzir o consumo de energia em seus data centers, tornando suas operações mais ecologicamente corretas.

Por meio da análise de dados dessas empresas, o estudo de caso apresenta práticas específicas de TI verde que contribuem para a eficiência energética e para a sustentabilidade, sem comprometer a capacidade e o uso intensivo da informação nesses ambientes. A pesquisa mostra como tecnologias modernas e sustentáveis podem diminuir o impacto ambiental dos data centers, oferecendo um caminho para a integração da TI verde em grandes infraestruturas tecnológicas.

A tabela 2 apresenta a análise de estudo de caso de Pinto *et al.*, (2021) desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Quadro 2 - Análise Estudo de Caso de Pinto et. al (2021)

Práticas implantadas	Benefícios alcançados	Dificuldades enfrentadas
LOCAWEB		
Construção do maior <i>Data Center</i> verde da América Latina.	Redução de 30% no consumo de energia.	Investimento inicial significativo para a construção e implementação das tecnologias
Utilização de computação em nuvem nos datacenters:	Redução de 30% na emissão de CO2. Acesso dos dados facilitado. Redução de custo com infraestrutura.	Necessidade de mudança cultural e adaptação à nova tecnologia.
Sistema de <i>free-cooling</i> .	Economia de até 40% no consumo energético.	Manutenção e monitoramento contínuo das novas tecnologias.
ALGAR TECH		
Implementação de sistema fotovoltaico.	Economia de R\$ 125 mil por ano.	Alto custo inicial de R\$ 2 milhões para a instalação do sistema fotovoltaico.
Primeiro call center e <i>Data Center</i> verde da América Latina.	Geração de 450 MWh/ano, suficiente para alimentar 150 residências. Neutralização da emissão de CO2 equivalente ao plantio de 1600 árvores.	Necessidade de certificação e adequação às normas para obter o Selo Solar.
DELL EMC		
Iniciativas de eficiência energética (contenção de corredores quentes e frios).	Economia de US\$ 4,3 milhões por ano.	Aumento inicial do uso de energia durante a implementação de novas

		tecnologias.
Uso de nitrogênio líquido para otimização de processos.	Redução de 6,5 toneladas de CO ₂ .T	Necessidade de treinamento e adaptação da equipe para novas práticas e tecnologias.
Data Center virtual 100% eficiente em uso de energia.	Redução de 129 mil m ³ de água por ano.	Desafios na integração de sistemas antigos com novas tecnologias sustentáveis.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

6.1.3 *Análise estudo de caso 3*

O estudo realizado por Lunardi *et al.* (2014) explora a crescente preocupação mundial com problemas ambientais, esgotamento de recursos não renováveis e desenvolvimento sustentável, destacando o papel que a área de TI desempenha tanto no problema quanto na solução. Com a conscientização dos gestores sobre o impacto ambiental da tecnologia, as práticas de TI verde foram adotadas nas organizações com o objetivo de reduzir o desperdício e aumentar a eficiência operacional dos sistemas.

O trabalho consiste em uma pesquisa exploratória-descritiva, baseada na análise de 202 publicações, incluindo artigos, estudos de caso, entrevistas e sites institucionais, entre 2006 e 2011. Os dados permitiram identificar e categorizar as principais práticas de TI verde, como a consolidação de servidores, uso de equipamentos eficientes, reciclagem de componentes e campanhas de conscientização. Os benefícios observados incluem redução de custos, menor consumo de energia, diminuição da emissão de gases e melhorias na imagem institucional das empresas.

A tabela 3 apresenta a análise de estudo de caso de Lunardi *et al.* (2014) desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Quadro 3 - Análise Estudo de Caso de Lunardi et. al (2014)

Práticas implantadas	Benefícios alcançados	Dificuldades enfrentadas
Consolidação de servidores: consiste em usar apenas uma máquina física com diversas máquinas virtuais, sendo uma para cada servidor.	Redução de custos operacionais. Redução do consumo de energia. Economia de espaço.	Altos investimentos iniciais. Necessidade de modernização constante.
Consolidação de desktops: uso de terminais do tipo thin client, onde os usuários são conectados a um servidor central que realiza todo o processamento sem que haja perda para o usuário final	Economia de quase 80% em relação a uma estação de trabalho normal.	
Modernização do datacenter: Aquisição de data centers verdes, com foco em eficiência energética.	Economia de energia. Redução da necessidade de expansão da infraestrutura para lidar com demanda energética e resfriamento.	
Uso de energias renováveis Aproveitamento do calor e da água	Redução de custos Redução da emissão de gases	Alto custo de implementação Acesso limitado a fontes de energia renováveis. Dificuldade de integração com os datacenters.
Uso de equipamentos mais eficientes Substituição de monitores CRT por LCD Eliminação de componentes nocivos	Redução de custos Maior ciclo de vida dos produtos Redução do lixo eletrônico	Necessidade de investimento em novos equipamentos Resistência à mudança de tecnologia

Sistemas de gerenciamento de energia Aplicativos eficientes	Redução do consumo de energia Redução de custos	Necessidade de treinamento e adaptação dos usuários Integração com sistemas existentes
--	--	---

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

6.1.4 *Análise estudo de caso 4*

O estudo realizado por Trivedi *et al.* (2014) explora a crescente preocupação com o impacto ambiental da infraestrutura de tecnologia da informação (TI) e como a computação em nuvem pode oferecer soluções sustentáveis. Destaca os benefícios da computação em nuvem, incluindo a redução do consumo de energia em até 95% e a diminuição do desperdício eletrônico, ao mesmo tempo em que aborda as dificuldades de implementação dessas práticas.

Por meio de exemplos de grandes empresas de tecnologia, como Microsoft e Google, o estudo ilustra a transformação do modelo de negócios tradicional para um modelo baseado em serviços, enfatizando a importância da eficiência energética e da sustentabilidade. O artigo conclui que, embora a computação em nuvem represente um avanço significativo em direção a uma TI mais ecológica, a verdadeira sustentabilidade será alcançada somente quando essas infraestruturas virtualizadas forem alimentadas por fontes de energia renováveis.

A tabela 4 apresenta a análise de estudo de caso de Trivedi *et al.* (2014) desenvolvida neste trabalho de conclusão de curso.

Quadro 4 - Análise Estudo de Caso de Trivedi et. al (2014)

Práticas implantadas	Benefícios alcançados	Dificuldades enfrentadas
Virtualização: Uso de múltiplas máquinas virtuais em um único servidor físico para otimizar recursos.	Redução do consumo de energia em até 95%. Melhor utilização dos recursos físicos, permitindo que múltiplas máquinas virtuais operem em um único servidor.	Complexidade na transição de servidores físicos para um ambiente virtualizado. Necessidade de habilidades técnicas específicas para configuração e gestão.
Centralização de Recursos: Criação de infraestruturas de nuvem privadas para gestão eficiente	Menor necessidade de manutenção e gestão de infraestrutura local.	Investimentos significativos em hardware e software para criar uma infraestrutura de nuvem privada. Mudança cultural necessária nas organizações para adotar um modelo de gerenciamento centralizado.
Mudança de Modelo de Custo: Transição de CapEx para OpEx, permitindo pagamento apenas pelo uso	Redução de custos de utilidade em até 90% para estações de trabalho. Maior flexibilidade financeira para as empresas.	Desafios na adaptação de empresas que estão acostumadas a investimentos de longo prazo em infraestrutura.
Redução de Resíduos Eletrônicos: Minimização do uso de hardware local e desperdício.	Minimização do uso de hardware local e desperdício de equipamentos. Redução do desperdício geral devido ao consumo de poder computacional como serviço.	Implementação de novas políticas de descarte e reciclagem pode ser desafiadora. Necessidade de compromisso com a compra de equipamentos mais sustentáveis.
Uso de Fontes de Energia	Potencial para reduzir o	Dependência de fontes de

Renováveis	impacto ecológico geral devido a resíduos de TI, consumo de energia e emissões de carbono.	energia renováveis pode não ser viável em todas as regiões. Necessidade de investimentos em infraestrutura para suportar energia renovável.
------------	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

6.2 Análise comparativa dos estudos de caso

Na segunda etapa foi realizada uma análise comparativa entre os estudos de casos abordados com o intuito de relacionar os dados apurados (Tabela 5).

Quadro 5 - Tabela da Análise Comparativa

Estudo de Caso	Práticas Implementadas	Benefícios Alcançados	Dificuldades Enfrentadas
SALLES et al. (2016)	- Virtualização de Máquinas: Redução de servidores físicos através da virtualização para melhorar eficiência energética.	- Redução do Consumo de Energia: Diminuição dos custos de operação com maior eficiência energética. - Segurança e Eficiência Operacional: Maior segurança e agilidade nas operações.	- Alto Custo Inicial: Investimento elevado em infraestrutura e consultoria especializada.
PINTO et al. (2021)	- Construção de Data Center Verde: Maior data center verde da América	- Redução de 30% no Consumo de Energia e Emissões de CO2.	- Integração Complexa de Sistemas Antigos: Desafios para

	Latina. - Uso de Computação em Nuvem: Data center virtual com eficiência energética.	- Redução de Custos com Infraestrutura: Redução significativa de água e custos. - Facilidade de Acesso a Dados.	integrar tecnologias sustentáveis. - Alto Investimento Inicial: Custo elevado para construção e implementação.
LUNARDI et al. (2014)	- Consolidação de Servidores e Desktops: Uso de terminais <i>thin clients</i> e servidores centralizados. - Modernização de Data Center: Foco em eficiência energética.	- Redução de Custos Operacionais e Consumo de Energia: Redução de quase 80% em relação às estações tradicionais. - Economia de Espaço e Infraestrutura: Menor necessidade de expansão para resfriamento e demanda energética.	- Alto Custo de Implementação. - Limitação de Acesso a Fontes Renováveis: Dificuldade em obter fontes de energia limpa. - Dificuldades de Integração com Data Centers Existentes
TRIVEDI et al. (2014)	- Virtualização: Múltiplas máquinas virtuais em um único servidor físico. - Centralização de Recursos: Criação de nuvens privadas	- Redução de Consumo de Energia em até 95%. - Melhor Utilização de Recursos: Otimização de servidores e menor necessidade de manutenção local.	- Complexidade na Transição para Ambientes Virtuais: Necessidade de habilidades técnicas e mudanças organizacionais. - Investimento Significativo em hardware e software.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A seguir, será apresentada uma análise comparativa das informações obtidas a partir dos estudos de caso selecionados. Essa análise tem como objetivo sintetizar as práticas de TI verde e computação em nuvem adotadas pelas empresas.

Presença da Computação em Nuvem: A Computação em Nuvem está Presente: Todos os estudos de caso demonstram práticas que envolvem a utilização da computação em nuvem ou a virtualização, uma tecnologia essencial para a construção de infraestruturas de nuvem. A computação em nuvem, em particular a virtualização de equipamentos e a concentração de recursos, é crucial para melhorar a eficiência energética e diminuir a pegada de carbono em todas as situações examinadas.

O uso de centros de dados verdes e infraestruturas virtualizadas foi frequente, com efeitos diretos na diminuição de energia e emissões, o que está em consonância com as metas do estudo de analisar o papel da nuvem na sustentabilidade.

Benefícios em Sustentabilidade e Eficiência Energética: As vantagens mais frequentes incluem a diminuição do uso de energia e a redução das emissões de carbono. Em particular, a pesquisa de Trivedi *et al*, (2014) revela uma diminuição de até 95% no uso de energia através da virtualização, ao passo que Pinto *et al*, (2021) obtiveram uma diminuição de 30% nas emissões de CO₂.

As empresas, além de economizar energia, conseguiram diminuir os gastos operacionais e aprimorar a eficácia dos recursos. Estes achados apoiam a ideia de que a computação em nuvem auxilia na diminuição do efeito estufa ao fomentar a sustentabilidade.

Dificuldades Comuns na Implementação: Os desafios identificados incluíram o elevado custo inicial para a implementação de tecnologias em nuvem e a exigência de uma mudança cultural. Vários estudos também destacaram a complexidade na integração com sistemas antigos e a necessidade de competências técnicas específicas para administrar a infraestrutura em nuvem.

Esses obstáculos sugerem que, apesar da computação em nuvem proporcionar vantagens ambientais e operacionais relevantes, sua aplicação requer investimentos sólidos e um planejamento minucioso.

Validação dos Objetivos do Trabalho: Os estudos de caso examinados comprovam que a computação na nuvem e práticas correlatas, como a virtualização e a centralização de

recursos, auxiliam na sustentabilidade das operações de TI, contribuindo para a diminuição do consumo de energia e das emissões de CO₂.

A avaliação indica que, ao diminuir a quantidade de servidores físicos e implementar tecnologias eficazes, as organizações não só aprimoram sua eficácia operacional, como também colaboram para a atenuação das alterações climáticas. Isso confirma a meta do estudo de que a computação em nuvem contribui para o combate ao aquecimento global e a diminuição do efeito estufa.

Essa análise comparativa evidencia que, embora a computação em nuvem enfrente barreiras como o custo e a necessidade de adaptação cultural, os benefícios ambientais e operacionais reforçam seu papel como uma solução viável e eficaz para promover a TI Verde e contribuir para a sustentabilidade global.

Viabilidade financeira de utilização da computação em nuvem: A adoção da computação em nuvem vai além de uma prática sustentável, ela também gera benefícios econômicos significativos para as empresas. De acordo com Lacy *et al* (2020), migrar para a nuvem sustentável permite que as empresas não apenas atinjam objetivos financeiros, mas também reduzam os custos totais de propriedade em cerca de 30-40%, graças à flexibilidade de cargas de trabalho, melhor utilização dos servidores e consumo de energia mais eficiente. Em suas próprias operações, a Accenture transferiu 95% de suas aplicações para a nuvem, gerando US\$ 14,5 milhões em benefícios nos primeiros três anos e economizando US\$ 3 milhões anuais devido ao dimensionamento correto dos serviços utilizados (Lacy *et al*, 2020).

Além da economia direta, a sustentabilidade é um ponto crucial para o sucesso futuro das empresas. O estudo “UNGC-Accenture Strategy CEO” mostra que 99% dos CEOs de grandes empresas acreditam que questões ambientais são vitais para o sucesso a longo prazo. Adotar práticas sustentáveis, como a computação em nuvem, fortalece a reputação da empresa e a torna mais competitiva no mercado. De fato, empresas com elevados índices de desempenho ambiental, social e de governança (ESG) têm margens operacionais superiores, com um desempenho anual de até 4,7 vezes maior do que aquelas com baixos índices de ESG, o que demonstra a vantagem financeira da sustentabilidade (Lacy *et al*, 2020).

De acordo com Rodrigues; Galdino; Antunes Neto (2021), em um estudo que analisou a aplicação de computação em nuvem em empresas que pequeno e médio porte, foi constatado que em diversos setores, como startups, instituições de ensino e empresas de

tecnologia, reportaram benefícios financeiros e operacionais ao adotar serviços de nuvem, tornando essa prática uma solução estratégica para a modernização e eficiência empresarial.

Um dos exemplos destacados é o de uma startup de estampas de camisetas, que reduziu seus custos operacionais em 40%, além de obter melhorias em desempenho e escalabilidade. Em um ambiente de testes com nuvem privada, constatou-se que a implantação dessa modalidade trouxe benefícios relacionados a custos, segurança e uso consciente de recursos. Já uma instituição de ensino superior observou que, ao migrar para serviços de nuvem pública, foi possível alcançar vantagens em custos e escalabilidade, embora a segurança fosse inferior em comparação a sistemas locais.

Três pequenas empresas identificaram economias significativas em manutenção e implementação ao migrar para a nuvem. No Porto Digital, a maioria das empresas incubadas já utilizam a nuvem, com benefícios evidentes em redução de custos e incentivo à inovação. Em Santa Catarina, 95% das empresas de tecnologia adotaram serviços de nuvem, destacando acessibilidade e baixo custo como principais vantagens. (Rodrigues; Galdino; Antunes Neto, 2021)

Esses estudos reforçam que a migração para a computação em nuvem é economicamente viável e benéfica para empresas de pequeno porte. A adoção dessa tecnologia não só reduz custos, mas também melhora a eficiência e permite que as empresas se concentrem em seus objetivos estratégicos, tornando-se mais competitivas e sustentáveis no mercado atual.

6.3 Análise dos relatórios de sustentabilidade

Nessa etapa, foi realizada uma análise dos relatórios de sustentabilidade de grandes empresas de tecnologia (Big Techs) que adotaram soluções de computação em nuvem com foco na sustentabilidade.

6.3.1 Apurações do relatório de sustentabilidade da google de 2024.

A análise dos dados coletados do relatório de sustentabilidade da Google evidencia o papel crucial da computação em nuvem e da inteligência artificial (IA) para impulsionar práticas sustentáveis e reduzir a pegada de carbono dos data centers.

1. Eficiência Energética e Infraestrutura dos Data Centers

A Google investiu significativamente na **otimização de seus data centers** para melhorar a eficiência energética. Em 2023, a média de *Power Usage Effectiveness* (PUE) dos data centers da Google foi de 1,10, comparado à média da indústria de 1,58. Esse índice indica que, para cada unidade de energia consumida em tarefas de TI, apenas 0,10 unidades adicionais são utilizadas, demonstrando um compromisso com uma infraestrutura otimizada e com baixo desperdício energético. A implementação de **processadores eficientes** como o Google Axion, que são até 60% mais eficientes que instâncias tradicionais, reforça ainda mais a eficiência da infraestrutura em nuvem.

2. Redução do Consumo Energético com IA e Otimização

A Google utiliza IA para maximizar a eficiência energética em suas operações. Com **modelos de IA otimizados** para o uso eficiente de hardware, a empresa reduziu a energia necessária para treinar modelos de IA em até 100 vezes e as emissões de CO₂ associadas em até 1.000 vezes. Além disso, **algoritmos de IA** são aplicados em sistemas de controle de energia, como os termostatos inteligentes Nest, que ajudaram os usuários a economizar mais de 20 bilhões de kWh em 2023, promovendo uma redução significativa no consumo de energia.

3. Integração de Energias Renováveis

A Google tem como objetivo alcançar 100% de energia livre de carbono em todas as suas operações até 2030. Em 2023, 64% da energia utilizada em seus data centers já era proveniente de fontes renováveis. A empresa não só adquire energia limpa, como também investe em **inovações energéticas**, incluindo projetos de geotermia avançada e tecnologias de eletricidade limpa. Esses esforços demonstram o compromisso com uma **infraestrutura neutra em carbono**, sustentada por fontes de energia renováveis.

4. Colaboração e Compartilhamento de Dados para Sustentabilidade

A Google desenvolveu o **Data Commons**, uma plataforma que organiza dados de sustentabilidade para que governos e organizações possam acessar informações relevantes e tomar decisões informadas sobre emissões e eficiência energética. Parcerias estratégicas com o setor privado, como a colaboração com a Engie para otimizar operações e identificar

consumidores potenciais de energia solar, ampliam o impacto das práticas de TI verde adotadas.

5. Aplicação de IA para Mitigação de Impactos Ambientais

A Google também aplica IA em soluções práticas para a sustentabilidade. Exemplos incluem o **Google Maps**, que sugere rotas de menor impacto para veículos, reduzindo em 2,9 milhões de toneladas métricas as emissões de gases de efeito estufa (GEE) desde 2021. Outro exemplo é o **modelo de IA para previsão de inundações**, que permite prever desastres com até sete dias de antecedência, ajudando as comunidades a responderem rapidamente e mitigando o impacto ambiental.

6. Compromisso com Economia Circular e Sustentabilidade em Produtos

Além de buscar eficiência operacional, a Google adota práticas alinhadas ao conceito de economia circular, que se baseia em minimizar o desperdício, maximizar a reutilização de recursos e criar ciclos fechados de materiais para prolongar sua utilidade. Como parte desse compromisso, a empresa estabeleceu a meta de desviar 90% dos resíduos gerados em seus data centers de aterros sanitários. Em 2023, 29% desses centros já haviam atingido o objetivo. Por meio da reutilização e reaproveitamento de componentes de servidores, a Google promove a sustentabilidade, estendendo o ciclo de vida dos equipamentos e reduzindo a necessidade de novos recursos.

6.3.2 Apurações do relatório de sustentabilidade da google de 2023.

1. Eficiência Energética dos Data Centers

A Google tem investido em tornar seus data centers altamente eficientes. Em média, um data center operado pelo Google é mais de 1,5 vezes mais eficiente em consumo energético em comparação aos data centers típicos. Isso é alcançado por meio de servidores de alto desempenho, controle automatizado de temperatura e iluminação, além de técnicas avançadas de resfriamento que otimizam o uso da energia.

2. Redução do Consumo Energético com IA

A empresa aplicou práticas que reduzem o consumo de energia necessário para treinar modelos de IA em até 100 vezes e as emissões associadas em até 1.000 vezes. Isso demonstra um compromisso da Google em minimizar o impacto ambiental de suas operações na nuvem, especialmente no treinamento de IA, que é altamente intensivo em energia.

3. Uso de Energia Limpa

O Google definiu uma meta ambiciosa de operar seus data centers e escritórios com energia 100% livre de carbono até 2030. Esse objetivo envolve investimentos em fontes de energia renovável e em tecnologias que otimizam o uso de energia limpa, ajudando a reduzir ainda mais as emissões de CO₂ associadas aos serviços de nuvem.

4. Ferramentas de Otimização para Clientes

Por meio do Google Cloud, a empresa oferece ferramentas como o **Active Assist**, que utiliza aprendizado de máquina para identificar cargas de trabalho não utilizadas e otimizar recursos, permitindo que clientes reduzam suas emissões de carbono ao otimizar o uso da nuvem em tempo real.

5. Carbon Sense Suite

A **Carbon Sense Suite** da Google inclui produtos como o **Carbon Footprint**, que ajudam os clientes a monitorar, reportar e reduzir as emissões de carbono associadas ao uso dos serviços em nuvem. Essa suíte oferece visibilidade e transparência no impacto ambiental das operações, incentivando práticas de TI verde.

6. Colaboração com Parceiros para Sustentabilidade

A Google colabora com parceiros em setores como energia, transporte e agricultura para ajudar a alcançar metas de sustentabilidade. Essas parcerias envolvem o uso de tecnologias da Google para rastrear emissões, prever riscos climáticos e otimizar cadeias de suprimento, promovendo uma abordagem integrada à sustentabilidade.

7. Dados e Análises Geoespaciais para Ações Climáticas

Ferramentas como o **Google Earth Engine** e o **Environmental Insights Explorer** permitem análises de dados ambientais em grande escala, ajudando cidades e organizações a planejar ações de combate ao aquecimento global. Esses recursos são utilizados para monitorar fontes de emissão e desenvolver estratégias de mitigação de carbono.

8. Inovações Tecnológicas para Sustentabilidade na Nuvem

A Google está continuamente investindo em tecnologias de nuvem que não apenas otimizam operações, mas também ajudam a mitigar os impactos das mudanças climáticas. A aplicação de IA para prever eventos climáticos extremos e otimizar operações em tempo real são exemplos de como a empresa utiliza inovação para reduzir emissões.

9. Impacto na Cadeia de Suprimentos

A Google está comprometida em engajar seus fornecedores para que adotem práticas de energia renovável e reduzam suas próprias emissões. Essa abordagem busca promover a sustentabilidade em toda a cadeia de suprimentos, assegurando que as metas ambientais se estendam a parceiros comerciais.

10. Relatórios e Transparência

A participação ativa da Google em iniciativas como o **Carbon Disclosure Project (CDP)** reforça o compromisso da empresa com a transparência e o engajamento em práticas de redução de carbono, motivando outras empresas a aderirem a padrões semelhantes.

6.3.3 Apurações do relatório de sustentabilidade da AWS de 2023.

1. Eficiência Energética em Data Centers

Tecnologias de Resfriamento Sustentáveis: A AWS utiliza sistemas de resfriamento por ar livre e resfriamento evaporativo, aproveitando o ar externo e água para manter a temperatura dos servidores, o que reduz a dependência de sistemas de resfriamento energeticamente intensivos.

Chips Eficientes: Com o lançamento do Graviton4, a AWS introduziu chips que reduzem o consumo de energia em até 50% comparado aos modelos anteriores, além de melhorar o desempenho computacional.

2. Transição para Energia Renovável

Meta de 100% Energia Renovável: A AWS atingiu a meta de operar com 100% de eletricidade renovável em suas operações globais antes do prazo de 2030, com investimentos significativos em energia solar e eólica.

Investimento em Projetos de Energia Limpa: A AWS financiou 513 projetos de energia renovável, dos quais 243 são de energia solar e eólica, que além de abastecer suas operações, também fornecem energia limpa para comunidades locais.

3. Redução de Emissões na Cadeia de Suprimentos

Parcerias com Fornecedores para Descarbonização: A AWS colabora com fornecedores para estabelecer metas de redução de emissões, um aspecto essencial para diminuir a pegada de carbono total da empresa.

Amazon Sustainability Exchange: Através dessa plataforma, a AWS compartilha recursos e melhores práticas, promovendo uma abordagem colaborativa para atingir metas de sustentabilidade no setor.

4. Inovação e Uso de Inteligência Artificial

Otimização de Recursos com IA: A AWS usa inteligência artificial para otimizar o uso de energia e recursos, incluindo o dimensionamento eficiente de embalagens para reduzir desperdícios e melhorar a logística.

Monitoramento em Tempo Real: Com tecnologias de IoT, a AWS monitora e ajusta o consumo de água e energia em tempo real, o que permite corrigir ineficiências rapidamente.

5. Compromisso com a Sustentabilidade

Neutralidade de Carbono: A Amazon se comprometeu a alcançar a neutralidade de carbono até 2040, com esforços abrangentes em data centers, logística e construção sustentável.

Economia Circular: A AWS implementa práticas de economia circular, incluindo o reaproveitamento de equipamentos e a escolha de materiais com menor pegada de carbono para suas instalações.

6. Gestão Hídrica e Sustentabilidade

Objetivo de Ser "Positiva em Água": A AWS almeja se tornar positiva em água até 2030, devolvendo mais água do que consome para as comunidades, através de projetos de reabastecimento hídrico e uso de água reciclada em suas operações.

A AWS exemplifica como a computação em nuvem, combinada com práticas sustentáveis e inovação tecnológica, pode contribuir substancialmente para a sustentabilidade ambiental. Ao investir em eficiência energética, transição para fontes renováveis, e colaboração com a cadeia de suprimentos, a AWS avança na promoção de uma economia mais sustentável e na redução de sua pegada de carbono. Esses pontos reforçam o papel da computação em nuvem como uma aliada no combate às mudanças climáticas.

6.4 Análise geral dos relatórios de sustentabilidade

A avaliação dos relatórios de sustentabilidade de gigantes da tecnologia, como Google e AWS, destaca a importância vital da computação em nuvem para a sustentabilidade e a

diminuição da emissão de carbono. As duas companhias evidenciam um compromisso constante com a eficiência energética, a utilização de energias renováveis, a economia circular e o avanço em tecnologias de inteligência artificial com o objetivo de diminuir o impacto ambiental de suas atividades.

Os data centers da Google e AWS foram concebidos para serem extremamente eficazes. Por exemplo, o Google exibe um índice de Eficiência no Uso de Energia (PUE) de 1,10, superando a média do setor e destacando seu empenho em reduzir o desperdício energético. A AWS aplica sistemas de resfriamento avançados, tais como resfriamento a ar livre e evaporativo, que se valem do ar externo e da água para diminuir a demanda por sistemas convencionais e altamente energéticos. Adicionalmente, a AWS criou chips de computação, como o Graviton4, que diminuem o uso de energia em até 50% em comparação aos chips anteriores, sem prejudicar o rendimento.

A dedicação à energia renovável é um dos alicerces dessas estratégias. A Google trabalha com 64% de energia sem carbono e tem como meta alcançar 100% até 2030. Por outro lado, a AWS atingiu o objetivo de operar com 100% de energia renovável em 2023, sete anos antes do prazo estipulado. As duas companhias fazem grandes investimentos em energia solar e eólica, com centenas de projetos que não só atendem às suas atividades, mas também geram energia limpa para as comunidades onde estão inseridas.

As duas companhias utilizam inteligência artificial em suas operações para otimizar a eficiência. O Google diminuiu consideravelmente a energia requerida para treinar modelos de Inteligência Artificial, enquanto a AWS emprega IA para aprimorar o uso de energia e acompanhar recursos em tempo real, possibilitando modificações que minimizam o desperdício. Também é crucial a cooperação com fornecedores e parceiros. Por exemplo, a AWS promove o engajamento de fornecedores em práticas de descarbonização e divulga suas práticas sustentáveis através do Amazon Sustainability Exchange, expandindo o efeito positivo para além de suas operações internas.

Outro aspecto importante é a dedicação à economia circular. O Google tem como meta mover 90% dos resíduos de seus centros de dados para fora dos aterros sanitários e incentiva o reaproveitamento de peças de servidores para estender a durabilidade dos aparelhos. A AWS também implementa práticas de economia circular, reciclando equipamentos e optando por materiais de construção de baixo impacto ambiental, evidenciando uma gestão consciente do uso de recursos.

Em última análise, a transparência é um valor crucial para ambas as companhias, que colaboram em projetos como o Carbon Disclosure Project (CDP), revelando minuciosamente suas práticas e progressos na área de sustentabilidade. A AWS assume publicamente o compromisso de alcançar a neutralidade de carbono até 2040, intensificando sua dedicação à diminuição das emissões e a um futuro mais sustentável.

Estes relatórios de sustentabilidade demonstram como a computação em nuvem pode ser uma ferramenta eficaz na diminuição das emissões de CO₂ e na luta contra as alterações climáticas. A união de práticas de eficiência energética, mudança para energias renováveis, aplicação de inteligência artificial e economia circular possibilita que companhias como Google e AWS não só diminuam sua pegada de carbono, mas também estimulem outras entidades a implementarem práticas de tecnologia verde. Essas táticas destacam a importância da computação em nuvem na formação de uma economia sustentável e no progresso rumo a um futuro com responsabilidade ambiental.

6.5 Recomendações para adoção sustentável de computação em nuvem

Ao proporcionar escalabilidade e flexibilidade, a computação em nuvem se estabeleceu como um instrumento crucial para a transformação digital e sustentável. No entanto, para potencializar suas vantagens ambientais e econômicas, é imprescindível implementar práticas que estejam em conformidade com os princípios da TI verde. Esta seção fornece sugestões fundamentadas em pesquisas e práticas notadas em grandes empresas e relatórios de sustentabilidade, com a finalidade de guiar as empresas na implementação de soluções sustentáveis de nuvem computacional.

1. Alinhar a Estratégia Empresarial com Práticas Sustentáveis:

As empresas devem integrar metas de sustentabilidade em suas estratégias organizacionais, promovendo o uso responsável da computação em nuvem. Como sugerido por Murugesan (2008), práticas como a redução do consumo de energia e o uso de tecnologias verdes devem ser incorporadas desde o planejamento até a execução. Além disso, indicadores de desempenho ambiental, como a pegada de carbono e o consumo energético, devem ser monitorados regularmente para garantir alinhamento com os objetivos sustentáveis.

2. Escolher Provedores Comprometidos com Sustentabilidade

Estudos indicam que provedores como Google Cloud, AWS têm liderado esforços para operar data centers com energia 100% renovável, reduzindo as emissões de carbono em até 80% em relação a data centers locais (Haig, 2021).

Assim, priorizar provedores com certificações ambientais, como a ISO 14001, e acesso a ferramentas de monitoramento de emissões, como o "Carbon Footprint Tool" da Google, é fundamental para alcançar práticas de TI verde.

3. Implementar Virtualização e Consolidação de Recursos

A virtualização é um dos pilares da computação em nuvem e permite a utilização eficiente de recursos físicos, reduzindo o consumo energético e o desperdício eletrônico (Trivedi *et al.*, 2014).

De acordo com estudos de Trivedi *et al.* (2014), a consolidação de servidores em ambientes virtualizados pode diminuir o consumo de energia em até 95%. Organizações devem priorizar a adoção dessa prática para maximizar a eficiência dos recursos computacionais.

4 Capacitação e Mudança Cultural

A transição para uma infraestrutura sustentável depende da preparação dos profissionais. Segundo Lacy *et al.* (2020), organizações que investem em treinamento para práticas de TI verde observam maior adesão interna e resultados operacionais mais eficientes. Além disso, promover uma mudança cultural que valorize a sustentabilidade é essencial para o sucesso dessas iniciativas.

5. Investir em Pesquisa e Desenvolvimento

A inovação contínua é essencial para superar os desafios ambientais associados ao setor de TI. Como apontado por Google (2024), o uso de IA para otimizar o consumo de energia e prever demandas futuras é uma área promissora. Essa abordagem permite que data centers ajustem dinamicamente a alocação de recursos, reduzindo o desperdício e promovendo a eficiência energética.

7 CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho destaca o papel da computação em nuvem na promoção da sustentabilidade ambiental e na redução dos impactos do aquecimento global. Através da análise dos estudos de caso, observou-se que a implementação de serviços de computação em nuvem em diversas empresas contribuiu para a redução do consumo energético e das emissões de CO₂. Essas iniciativas não apenas ajudaram a reduzir a pegada de carbono, mas também otimizaram o uso de recursos, reduziram custos operacionais e melhoraram a eficiência geral dos processos de TI. A migração para a nuvem possibilitou ainda uma redução na necessidade de hardware físico, diminuindo o desperdício eletrônico e reforçando o compromisso com a sustentabilidade.

Entre os desafios comuns enfrentados pelas empresas na adoção da computação em nuvem, destacam-se o alto custo inicial de implementação e a complexidade de integrar sistemas legados com as novas infraestruturas de nuvem. Além disso, a mudança cultural e a necessidade de profissionais com habilidades técnicas específicas para gerenciar a infraestrutura em nuvem foram obstáculos recorrentes. Essas dificuldades, embora impactantes, demonstram a necessidade de um planejamento estratégico e de investimentos em capacitação para uma adoção bem-sucedida de práticas de TI verde.

A análise dos relatórios de sustentabilidade da Google e da AWS, principais provedores de serviços de computação em nuvem e TI, revelou que essas empresas investem de maneira significativa em medidas voltadas para a sustentabilidade. A Google, por exemplo, estabeleceu uma meta ambiciosa de operar com 100% de energia livre de carbono até 2030, enquanto a AWS já atingiu esse objetivo, investindo em centenas de projetos de energia renovável, incluindo energia solar e eólica. Ambas as empresas implementam práticas inovadoras, como o uso de tecnologias de resfriamento avançadas, desenvolvimento de chips energeticamente eficientes e uso de IA para otimização de consumo, além de promoverem a economia circular ao reutilizarem componentes de seus data centers.

A conclusão geral é que, ao adotar serviços de nuvem de provedores comprometidos com práticas de sustentabilidade, as empresas não só contribuem para a redução de sua própria pegada de carbono, mas também apoiam, de forma indireta, o compromisso ambiental desses fornecedores. Assim, a escolha de provedores que seguem rigorosamente diretrizes de sustentabilidade torna-se fundamental para maximizar os benefícios ambientais da

computação em nuvem. Essa escolha representa um impacto positivo que vai além das operações internas, contribuindo para um ecossistema tecnológico mais responsável.

Essas pequenas conquistas, como a economia de energia e a redução das emissões de CO₂, representam avanços fundamentais na luta contra o aquecimento global. Cada redução mínima no consumo energético ou na emissão de gases de efeito estufa, embora pareça pequena em escala individual, contribui de forma acumulativa para o enfraquecimento do efeito estufa. Como o aquecimento global é um fenômeno complexo e abrangente, combatê-lo exige uma soma de esforços contínuos em todas as áreas – das pequenas mudanças tecnológicas às grandes transformações industriais.

Por fim, o estudo propõe a adoção de melhores práticas para a implementação de atividades sustentáveis em TI, com um foco específico na computação em nuvem. Recomenda-se o desenvolvimento de políticas que incentivem a eficiência energética, a redução de emissões e a utilização de energias renováveis em data centers. Ao fortalecer esses compromissos, empresas de todos os setores poderão não apenas melhorar seu desempenho operacional e econômico, mas também contribuir para um futuro mais sustentável, no qual a tecnologia desempenha um papel ativo.

REFERÊNCIAS

ALVES, J.E.D. Principal indicador da crise climática: concentração de CO2 bate recorde em março de 2024. **EcoDebate**, 8 abr. 2024. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2024/04/08/principal-indicador-da-crise-climatica-concentracao-de-co2-bate-recorde-em-marco-de-2024>. Acesso em: 6 nov. 2024

AMAZON WEB SERVICES, **Amazon Sustainability Report. 2023** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.aboutamazon.com/2023-amazon-sustainability-report.pdf>. Acesso em 10 set. 2024

ARMBRUST, M. et al. A view of cloud computing. **Communications of the ACM**, v. 53, n. 4, p. 50–58, 2010. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/1721654.1721672>. Acesso em 7 jul. 2024

BALIGA, J. et al. Green cloud computing: Balancing energy in processing, storage, and transport. **Proceedings of the IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers**, v. 99, n. 1, p. 149–167, 2011. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5559320>. Acesso em 5 ago. 2024

BERL, A. et al. Energy-efficient cloud computing. **The computer journal**, v. 53, n. 7, p. 1045–1051, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/46116227_Energy-Efficient_Cloud_Computing. Acesso em 25 ago. 2024

BHOWMIK, S. **Cloud computing**. Cambridge, England: Cambridge University Press (Virtual Publishing), 2020. Disponível em: https://assets.cambridge.org/97813166/38101/frontmatter/9781316638101_frontmatter.pdf. Acesso em 3 jun. 2024

NASA SCIENCE. **The Causes of Climate Change**. 2024 Disponível em: <https://science.nasa.gov/climate-change/causes/>. Acesso em: 6 nov. 2024.

CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. **Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. 5. ed. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2018. Disponível em: https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/510378/mod_resource/content/1/creswell.pdf. Acesso em 05 dez. 2024

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. [s.l.]. Atlas, 2008. Disponível em: <https://ayanrafael.com/wp-content/uploads/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>. Acesso em 05 dez. 2024

GOOGLE. **Google's 2023 Environmental Report**. 2023 [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.google/reports/google-2023-environmental-report/>. Acesso em 15 out. 2024

GOOGLE. **Google's 2024 Environmental Report**. 2024 [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://sustainability.google/reports/google-2024-environmental-report/>. Acesso em 15 out. 2024

HANSEN, J. et al. Global temperature change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 39, p. 14288–14293, 2006. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0606291103>. Acesso em 18 jun. 2024

LACY, P. et al. **O verde por trás de cloud**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/manual/r3/pdf/pdf-139/Accenture-O-verde-por-tras-de-Cloud.pdf>. Acesso em 9 nov. 2024

LENTON, T. M. et al. Climate tipping points - too risky to bet against. **Nature**, v. 575, n. 7784, p. 592–595, 2019. Disponível em: https://eplanning.blm.gov/public_projects/nepa/109410/20017600/250023584/Lenton_2019m_Tipping_points--too_risky_to_bet_against.pdf. Acesso em 08 out. 2024

LEVIN, K. Half a degree and a world apart: the difference in climate impacts between 1.5°C and 2°C of warming. **World Resources Institute**, 8 de outubro de 2018. Disponível em: <https://www.wri.org/insights/half-degree-and-world-apart-difference-climate-impacts-between-15c-and-2c-warming>. Acesso em: 14 ago. 2024.

LUNARDI, G. L.; SIMÕES, R.; FRIO, R. S. TI Verde: uma análise dos principais benefícios e práticas utilizadas pelas organizações. **REAd**, v. 20, n. 1, p. 1–30, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/read/a/8KzGRQSRSPnDWRfWpcqbgFy/?lang=pt#>. Acesso em 25 out. 2024

MARSH & MCLENNAN AND ZURICH INSURANCE GROUP. **The Global Risks Report 2020**. [s.l: s.n.]. Disponível em:

https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf . Acesso em 09 jul 2024

MASSON-DELMOTTE, V. *et al* (ed.). **Global warming of 1.5°C [...]**, Geneva: IPCC, 2018. Disponível em:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf. Acesso em 30 jun. 2024

MELL, P. M.; GRANCE, T. **The NIST definition of cloud computing**. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2011. Disponível em:

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf>. Acesso em 12. Jul. 2024

MURUGESAN, S. Harnessing green IT: Principles and practices. **IEEE Xplore**, v. 10, n. 1, p. 24–33, 2008. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4446673>. Acesso em 12 jun. 2024

PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (ed.). **Climate change 2014: synthesis report**. Geneva: IPCC, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Acesso em 30 jun. 2024

PINTO, M. F. M.; DE CAMPOS, P. K.; DE AZEVEDO, V. R. Sustentabilidade de data centers com o uso da ti-verde. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 20, p. 18, 2021.

Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locuciao/article/view/420>. Acesso em 15 nov. 2024

RODRIGUES, G. C.; GALDINO, L. R.; ANTUNES NETO, J. M. Application of Cloud Computing in small and medium-sized enterprises: Systematic review. **Revista Prospectus**,

2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.5558981>. Acesso em 25 nov. 2024

SALLES, A. C. et al. Tecnologia da Informação Verde: Um Estudo sobre sua Adoção nas Organizações. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 20, n. 1, p. 41–63, 2016.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/3fWDvfM53dCn7YYSm5vn3yb/#>. Acesso em 20 nov. 2024

TANENBAUM, A. S. **Computer Networks**. Nova Deli, India: Dorling Kindersley, 2008. Disponível em: <https://www.inf.ufsc.br/~bosco.sobral/ensino/ine5645/Computer-Networks---A-Tanenbaum---5th-edition.pdf>. Acesso em 2 out. 2024

TRIVEDI, Rajender; SHARMA, Rajani. Case study on environmental impact of cloud computing. **IOSR Journal of Computer Engineering**, v. 16, n. 2, p. 81-86, 2014. Disponível em: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Vol16-issue2/Version-6/M016268186.pdf>. Acesso em 22 nov. 2024

VAQUERO, L. M. et al. A break in the clouds: Towards a cloud definition. **Computer communication review**, v. 39, n. 1, p. 50–55, 2008. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1496091.1496100>. Acesso em 15 jul. 2024