

Desenvolvimento de um Manual de Boas Práticas de Sustentabilidade Ambiental na utilização de Computação na Nuvem

António Capelas

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo Gil da Costa



Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial

2023-02-27

Resumo

Nos últimos anos, a computação em nuvem tem-se tornado cada vez mais popular entre as organizações de todo o mundo, oferecendo benefícios significativos, como escalabilidade, flexibilidade e custos reduzidos. No entanto, o uso crescente de tecnologias de nuvem também apresenta um potencial impacto ambiental significativo, com implicações que podem ser positivas ou negativas para o meio ambiente. É importante, portanto, que as organizações adotem práticas sustentáveis para minimizar o impacto ambiental na sua utilização de computação na nuvem. Nesse contexto, um manual de boas práticas de sustentabilidade ambiental na utilização de computação na nuvem fornece orientações detalhadas para as organizações implementarem práticas mais responsáveis e sustentáveis, ajudando a reduzir o impacto ambiental, cumprir os objetivos de sustentabilidade e contribuir para um futuro mais sustentável.

Este trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de um manual de boas práticas para a adoção sustentável da computação em nuvem pelas organizações. Para alcançar este objetivo, foi realizada uma revisão completa da literatura existente, que demonstrou que a computação em nuvem pode ter tanto impactos positivos quanto negativos no meio ambiente, dependendo de como é implementada e utilizada. As principais preocupações ambientais incluem o consumo de energia, as emissões de carbono e a utilização de água.

O manual produzido pela pesquisa define um conjunto de boas práticas que as organizações devem seguir para abordar essas questões ambientais. Além disso, o manual fornece orientações de alto nível sobre como implementar essas práticas e inclui um conjunto de ferramentas e técnicas fornecidas pelos principais provedores de nuvem, que as organizações devem utilizar para colocar em prática essas boas práticas.

Seguindo as boas práticas descritas no manual, as organizações podem reduzir o impacto ambiental das suas operações na nuvem e contribuir para um futuro mais sustentável. Espera-se que este manual seja uma fonte de orientação para organizações de todos os tamanhos e indústrias, incentivando a adoção responsável da computação em nuvem.

Abstract

Development of a Best Practices Manual for Environmental Sustainability in the Use of Cloud Computing

In recent years, cloud computing has become increasingly popular among organizations worldwide, offering significant benefits such as scalability, flexibility, and reduced costs. However, the growing use of cloud technologies also presents a significant potential environmental impact, with implications that can be positive or negative for the environment. Therefore, it is important that organizations adopt sustainable practices to minimize the environmental impact of their use of cloud computing. In this context, a manual of good environmental sustainability practices in the use of cloud computing provides detailed guidelines for organizations to implement more responsible and sustainable practices, helping to reduce the environmental impact, meet sustainability objectives, and contribute to a more sustainable future.

The main objective of this work was to develop a manual of good practices for the sustainable adoption of cloud computing by organizations. To achieve this goal, a comprehensive review of existing literature was conducted, which showed that cloud computing can have both positive and negative impacts on the environment, depending on how it is implemented and used. The main environmental concerns include energy consumption, carbon emissions, and water usage.

The manual produced by the research defines a set of good practices that organizations should follow to address these environmental issues. In addition, the manual provides high-level guidance on how to implement these practices and includes a set of tools and techniques provided by leading cloud providers that organizations should use to put these good practices into practice.

By following the good practices described in the manual, organizations can reduce the environmental impact of their cloud operations and contribute to a more sustainable future. It is expected that this manual will be a source of guidance for organizations of all sizes and industries, encouraging responsible adoption of cloud computing.

"The greatest threat to our planet is the belief that someone else will save it."

Robert Swan

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	O Projeto e a Deloitte	2
1.3	Objetivos do projeto	2
1.4	Método seguido no projeto	2
1.5	Estrutura da dissertação	3
2	Revisão de literatura	5
2.1	Definição de Computação na Nuvem	5
2.1.1	Características de Computação na Nuvem	5
2.1.2	Tipos de Computação na Nuvem	6
2.1.3	Modelos de Nuvem	7
2.2	Centro de Dados	8
2.2.1	Questões ambientais	8
2.2.2	O caminho para a sustentabilidade	9
2.3	Principais desafios de um <i>cloud provider</i>	10
2.4	Fatores de escolha de um <i>cloud provider</i>	11
2.5	Boas práticas em computação na nuvem	14
3	Situação Inicial	17
3.1	Amazon Web Services	17
3.2	Microsoft Azure	21
3.3	Google Cloud	25
3.4	Outros <i>cloud providers</i>	29
4	Manual de Boas Práticas	31
4.1	Compreender as emissões das cargas de trabalho	31
4.2	Responsabilidade partilhada	32
4.3	Escolha de <i>cloud provider</i>	32
4.4	Boas Práticas de Sustentabilidade no uso de computação em nuvem	33
4.4.1	Diminuir o desperdício de recursos	33
4.4.2	Otimizar escolha de região das cargas de trabalho	38
4.4.3	Automatizar políticas de armazenamento de dados	40
4.4.4	Otimizar desenvolvimento das aplicações	41
4.4.5	Monitorização	43
5	Conclusões	47

Acronyms and Symbols

KPI	Key Performance Indicator
AWS	Amazon Web Services
API	Application Programming Interface
CPU	Central processing unit
VM	Virtual Machine
GEE	Gases com efeito de estufa
PUE	Power Usage Efficiency
WUE	Water Usage Efficiency
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
GHG	Greenhouse gases
CO ₂	Dióxido de Carbono
IT	Information Technology
CNDCP	Climate Neutral Data Centre Compact
UE	União Europeia
IaaS	Software as a Service
PaaS	Platform as a Service
SaaS	Software as a Service
NIST	National Institute of Standards and Technology

Lista de Figuras

2.1	<i>Camadas de controlo do utilizador (Chen, 2020)</i>	7
4.1	<i>Fatores essenciais na escolha de uma região</i>	39

Capítulo 1

Introdução

Este projeto de dissertação de mestrado teve a duração de 4 meses, tendo ocorrido no âmbito de Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Este capítulo destina-se a introduzir o contexto do problema, com relevo na motivação do projeto e enquadramento da relação entre a empresa e o assunto abordado, assim como expor a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Nos últimos anos, o conceito de Sustentabilidade tem evoluído no sentido de englobar todas as práticas que fomentem a sobrevivência humana no futuro do planeta Terra, o que tem resultado numa definição muito abrangente de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável. A Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável define desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento, que cumpra as necessidades do presente, sem limitar as gerações futuras de cumprir as suas necessidades”(Nations, 2022). O desenvolvimento sustentável elenca três grandes pilares: económico, social e ambiental, sendo este último o foco de estudo desta dissertação. Alcançar um estado de Sustentabilidade ambiental tem-se tornado gradualmente um objetivo geral da comunidade internacional. Em conformidade, uma das dez maiores prioridades de negócio entre os CEOs em 2022 é o objetivo de tornar as suas organizações ambientalmente sustentáveis, segundo a *Gartner* (Angel Borrega et al., 2022). Para além disso, existe uma crescente pressão dos *stakeholders* (incluindo clientes, investidores, reguladores e trabalhadores) para a transformação do negócio, de modo a incluir práticas mais sustentáveis. Assim nasce a necessidade de uma empresa de consultoria como a Deloitte delinear estratégias que assistam as empresas a ser o mais sustentáveis possível. A presente dissertação pretende estudar a relação entre computação na nuvem e sustentabilidade ambiental, colmatando com o desenvolvimento de um manual de boas práticas.

1.2 O Projeto e a Deloitte

Este projeto foi realizado na Deloitte, empresa líder global de serviços de consultoria, nomeadamente na área de *Cloud and Technology Strategy* na divisão de *Technology Consulting*. Uma empresa de consultoria como a Deloitte está sempre atenta às tendências de negócio, de modo a acompanhar as organizações entregando-lhes as soluções que precisam. Desta forma, a sustentabilidade ambiental é estudada por várias áreas dentro da Deloitte, de maneira à consultora consolidar algumas soluções gerais para as organizações da forma mais completa possível.

1.3 Objetivos do projeto

O objetivo da presente dissertação é elaborar um manual de boas práticas de sustentabilidade ambiental na utilização de computação na nuvem. O objetivo principal é criar um manual abrangente que auxilie as organizações a adotar e utilizar a tecnologia em nuvem de forma responsável do ponto de vista ambiental.

Para alcançar este objetivo, serão realizadas as seguintes tarefas:

- Realização de uma revisão abrangente da literatura existente relacionados com a sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem.
- Análise da Situação Inicial, relativamente às ofertas que os *cloud providers* atualmente já oferecem às organizações no âmbito de sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem.
- Desenvolvimento de um conjunto de boas práticas para as organizações seguirem, cobrindo temas como a seleção de *providers* de serviços em nuvem sustentáveis, a redução do desperdício de recursos na nuvem, a automação de políticas de armazenamento de dados, a otimização do desenvolvimento das aplicações e a monitorização.
- Fornecer orientação sobre a implementação dessas boas práticas, através de ferramentas e técnicas existentes.

O resultado esperado da presente dissertação é um manual que forneça um recurso para organizações de todos os tamanhos e indústrias e as incentive a adotar a tecnologia em nuvem de forma responsável do ponto de vista ambiental. O manual contribuirá para um futuro mais sustentável, promovendo práticas responsáveis no uso de computação na nuvem.

1.4 Método seguido no projeto

A metodologia utilizada na presente dissertação para a elaboração do manual de boas práticas de sustentabilidade ambiental em computação na nuvem consiste em três fases principais: revisão

da literatura, descrição da situação atual e desenvolvimento do manual. No entanto, a implementação desta metodologia apresenta vários desafios, pelo que foi necessário uma estratégia através de planeamento.

O primeiro desafio foi realizar uma revisão abrangente da literatura sobre o assunto de sustentabilidade ambiental em computação na nuvem. Dada a natureza evolutiva de computação na nuvem, é necessário garantir que são usadas as fontes mais atualizadas e relevantes. Esse trabalho envolveu a pesquisa em vários bancos de dados académicos para identificar os estudos e perspectivas mais recentes sobre o assunto. Dada a dificuldade de encontrar estudos académicos relacionados com a sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem na perspectiva do consumidor, o desafio foi recolher informações na ótica do *cloud provider*, para depois traduzi-las no manual de boas práticas na perspectiva da organização.

O segundo desafio foi recolher dados sobre o estado atual da sustentabilidade ambiental nos principais *cloud providers*. Isso envolveu a recolha de dados sobre a abordagem da sustentabilidade ambiental de cada um dos *cloud providers* principais, assim como as ferramentas consideradas mais relevantes dos principais *cloud providers* para serem consideradas no manual de boas práticas.

O terceiro desafio foi sintetizar as conclusões da revisão da literatura e das soluções existentes, colmatando num manual abrangente de boas práticas para sustentabilidade ambiental na utilização de computação na nuvem a ser aplicado pelas organizações. Isso envolveu uma análise cuidada das boas práticas existentes na ótica do *cloud provider*, da sua eficácia e do potencial para a sua implementação em diferentes contextos organizacionais, consoante a existência de ferramentas atualmente para as aplicar em cada um dos *cloud providers*. O manual foi projetado para ser alto nível, prático e acessível a todas as organizações, incorporando descrições claras, benefícios e etapas de implementação para cada boa prática.

Em geral, a metodologia utilizada neste estudo visou responder aos desafios de realizar uma análise abrangente da sustentabilidade ambiental em computação na nuvem, com o objetivo final do desenvolvimento de um manual prático para as organizações melhorarem os seus esforços de sustentabilidade.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação incide na elaboração de boas práticas de sustentabilidade ambiental em computação na nuvem, e para o efeito está organizada em cinco capítulos:

1. **Introdução:** Neste capítulo, é apresentado o enquadramento do projeto, a metodologia seguida ao longo do projeto, e é discutido a importância do estudo. O objetivo do estudo é criar um manual de boas práticas de sustentabilidade ambiental em computação em nuvem.
2. **Revisão da Literatura:** Neste capítulo, são recolhidos dados de estudos e teorias existentes provenientes de artigos científicos relacionados com a sustentabilidade ambiental no uso de

computação na nuvem. A revisão da literatura fornece contexto e conteúdo para o estudo na ótica do *cloud provider*.

3. **Situação Inicial:** Este capítulo apresenta uma análise do estado atual da sustentabilidade ambiental nos principais *cloud providers*. A análise é usada para identificar as iniciativas de cada um dos *cloud providers* principais, assim como as ferramentas dos principais *cloud providers* consideradas mais relevantes para análise, e assim servir de suporte para o desenvolvimento do manual de boas práticas.
4. **Manual de Boas Práticas:** Neste capítulo, é apresentado o manual de boas práticas de sustentabilidade ambiental em computação em nuvem. O manual traça um conjunto de boas práticas que podem ser adotadas pelas organizações para melhorar as suas práticas de sustentabilidade ambiental na sua utilização de recursos computacionais.
5. **Perspetiva de trabalhos futuros:** Neste capítulo, é discutido o impacto do manual de boas práticas na sustentabilidade ambiental em computação em nuvem. Os resultados fornecem *insights* sobre os potenciais benefícios da implementação de práticas ambientalmente sustentáveis em computação em nuvem. São sugeridas recomendações para pesquisas futuras e próximos passos. O objetivo é continuar a melhorar a sustentabilidade ambiental em computação em nuvem e tornar o manual de boas práticas amplamente disponível e acessível.

Capítulo 2

Revisão de literatura

Neste capítulo, a revisão de literatura irá cobrir os tópicos mais relevantes para a discussão da temática. De modo a se ter uma visão panorâmica dos conceitos e temas de computação na nuvem, será apresentada uma definição bibliográfica de computação na nuvem, uma pesquisa sobre questões ambientais de um centro de dados e os principais desafios de um *cloud provider*. Adicionalmente, será efetuada uma abordagem holística para os fatores de escolha de um *cloud provider*, assim como a recolha de boas práticas de computação na nuvem na ótica do *cloud provider* recolhida em artigos científicos.

2.1 Definição de Computação na Nuvem

Existem muitas definições de computação na nuvem escritas por diversos investigadores. Segundo a NIST (*National Institute of Standards and Technology*), que é uma instituição norte-americana reconhecida internacionalmente pelo seu trabalho nos campos da Inovação e Tecnologia, computação na nuvem é um modelo para permitir o acesso *on-demand*, conveniente e generalizado a uma rede partilhada de recursos informáticos configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicações e serviços). Estes recursos podem ser rapidamente provisionados e libertados com um esforço mínimo de gestão ou de interação do prestador de serviços (Mell, 2011).

Assim, em vez de a empresa investir na sua própria infraestrutura física e armazená-la *on-premises*, pode optar por aceder a recursos emprestados por um *cloud provider* através da *internet*. Desta forma, a empresa paga apenas pelos recursos que utiliza, e portanto usufrui de elasticidade para utilizar os recursos que necessita *on-demand* (Al-Dhuraibi et al., 2018).

2.1.1 Características de Computação na Nuvem

Segundo a NIST, a nuvem é composta por cinco características essenciais, três modelos de serviço, e quatro modelos de *deployment*. Primeiramente, é relevante analisar as principais particularidades de computação na nuvem, face às soluções *on-premises*.

- **On-demand self-service** - Um consumidor pode assegurar unilateralmente capacidades informáticas, tais como tempo de servidor e armazenamento de rede, conforme necessário e de forma automática, sem exigir interação humana com nenhum dos prestadores de serviços.
- **Ampla acesso à rede** - As capacidades estão disponíveis através da rede e são acedidas através de mecanismos padrão que promovem a utilização por pequenas ou grandes plataformas heterogêneas de clientes (por exemplo, telemóveis, tablets, computadores portáteis, e estações de trabalho).
- **Partilha de recursos** - Os recursos informáticos do fornecedor são reunidos para servir vários consumidores, com diferentes recursos físicos e virtuais dinamicamente atribuídos e reatribuídos de acordo com a procura dos consumidores. Existe uma sensação de independência de localização, na medida em que o cliente geralmente não tem qualquer controlo ou conhecimento sobre a localização exata dos recursos fornecidos, mas pode ser capaz de especificar a localização a um nível superior de abstração (por exemplo, país, estado, ou centro de dados)
- **Rápida elasticidade** - As capacidades podem ser elasticamente provisionadas e largadas, em alguns casos de forma automática, para escalar rapidamente de acordo com a procura. Para o consumidor, as capacidades disponíveis para o aprovisionamento parecem ser ilimitadas e podem ser apropriadas em qualquer quantidade e a qualquer momento.
- **Serviço controlado** - Os sistemas de nuvem controlam e otimizam automaticamente a utilização dos recursos, alavancando uma capacidade de medição adequado ao tipo de serviço (por exemplo, armazenamento, processamento, largura de banda). A utilização de recursos pode ser monitorizada, controlada e reportada, proporcionando transparência tanto para o fornecedor como para o consumidor do serviço utilizado (Mell, 2011).

2.1.2 Tipos de Computação na Nuvem

Os três principais tipos de *cloud computing* englobam *Infrastructure as a Service*, *Platform as a Service*, e *Software as a Service*. Existem diferentes níveis de controlo, flexibilidade e gestão, consoante o tipo de serviço.

- **Infrastructure as a Service (IaaS)** - A capacidade fornecida ao consumidor é de fornecer processamento, armazenamento, redes e outros recursos informáticos fundamentais, onde o consumidor é capaz de implementar e executar software arbitrário, que pode incluir sistemas operativos e aplicações. O consumidor não gere ou controla a infraestrutura de nuvem subjacente, mas tem controlo sobre os sistemas operativos, armazenamento, aplicações instaladas e possivelmente controlo limitado de certas componentes de rede.
- **Platform as a Service (PaaS)** - A capacidade oferecida ao consumidor é a de colocar na infraestrutura *cloud* aplicações criadas pelo consumidor ou adquiridas através de linguagens

de programação, bibliotecas, serviços, e ferramentas suportadas pelo fornecedor. O consumidor não gere ou controla a infra-estrutura *cloud* subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operativos, ou armazenamento, mas tem controlo sobre as aplicações implantadas e possivelmente definições de configuração para o ambiente de alojamento de aplicações.

- **Software as a Service (SaaS)** - A capacidade fornecida ao consumidor é a de utilizar as aplicações do fornecedor que funcionam numa infra-estrutura de nuvem. As aplicações são acessíveis a partir de vários dispositivos do cliente através de uma interface de cliente leve, tal como um navegador da web (por exemplo, correio eletrónico baseado na web), ou uma interface de um programa. O consumidor não gere nem controla a infra-estrutura *cloud* subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operativos, armazenamento, nem capacidades específicas da aplicação, com a possível exceção de configurações limitadas específicas ao utilizador (Dillon et al., 2010).

Para se ter um entendimento mais visual, a partir da Figura 2.1, é possível visualizar quais as capacidades de gestão fornecidas ao consumidor e quais as funções geridas pelo *cloud provider* em cada um dos tipos de computação na nuvem.

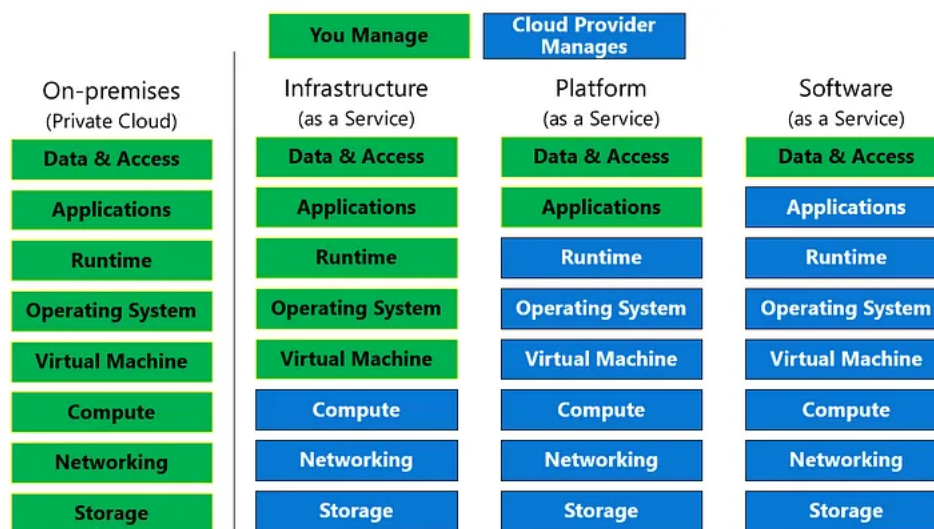


Figura 2.1: Camadas de controlo do utilizador (Chen, 2020)

2.1.3 Modelos de Nuvem

No que diz respeito aos modelos de *deployment*, a NIST identifica quatro:

- **Private cloud** - A infra-estrutura *cloud* é provisionada para uso exclusivo de uma única organização composta por vários consumidores, como unidades de negócio. Pode ser detida, gerida e operada pela organização, por um terceiro, ou por alguma combinação deles, e pode existir dentro ou fora das instalações.

- **Community Cloud** - A infraestrutura *cloud* é provisionada para uso exclusivo de uma comunidade de consumidores de organizações que têm preocupações comuns, como missão, requisitos de segurança, políticas, e considerações de conformidade. Pode ser detida, gerida e operada por uma ou mais das organizações da comunidade, por terceiros, ou alguma combinação deles, e pode existir dentro ou fora das instalações.
- **Public Cloud** - A infraestrutura *cloud* é provisionada para utilização aberta ao público em geral. Pode ser detida, gerida e operada por uma organização empresarial, académica ou governamental, ou por uma combinação delas. Tem lugar nas instalações do fornecedor *cloud*.
- **Hybrid cloud** - A infraestrutura *cloud* é uma composição de duas ou mais infraestruturas *cloud* distintas (privadas, comunitárias ou públicas) que permanecem entidades únicas, mas que estão ligadas entre si por tecnologia padronizada ou própria que permite a portabilidade dos dados e de aplicações (Mell, 2011).

Existe ainda o modelo **Multi-Cloud**, que se refere à combinação e integração de múltiplas nuvens públicas de fornecedores distintos. Uma empresa pode utilizar uma nuvem pública como base de dados, uma como PaaS, uma para autenticação do utilizador, e assim por diante. Se a implementação *multi-cloud* incluir uma nuvem privada ou um centro de dados *on-premises*, então a implementação *cloud* passa a ser considerada como uma *hybrid cloud* (Hong et al., 2019).

2.2 Centro de Dados

Um centro de dados é uma estrutura, ou conjunto de estruturas, dedicada ao armazenamento centralizado, interconexão e operação de equipamentos de tecnologias de informação e telecomunicações de rede. Os servidores e o equipamento informático que são guardados nos centros de dados geralmente precisam de funcionar dentro de intervalos específicos recomendados de temperatura e humidade, caso contrário são propensos a degradação e aumenta o risco de haver algum fracasso (Brocklehurst, 2022).

2.2.1 Questões ambientais

O funcionamento de um centro de dados implica um consumo grande de eletricidade, o que naturalmente gera calor. A eficiência energética de um centro de dados é medida em *Power Usage Effectiveness* (PUE). O PUE avalia o desempenho do centro de dados calculando o rácio entre a energia utilizada pela estrutura do centro de dados como um todo e a energia utilizada apenas para os equipamentos informáticos funcionarem, ou seja a energia útil (Jing et al., 2011).

Para evitar o sobreaquecimento de um centro de dados, é essencial um sistema de arrefecimento eficiente. No cálculo global da energia utilizada, cerca de 40% é alocada para os seus sistemas de arrefecimento para manter um ambiente com temperatura controlada ao longo do dia. Este elevado consumo de energia significa que os centros de dados são responsáveis por até 5%

das emissões de gases com efeito de estufa, equiparável à quantidade emitida pela indústria aeronáutica. Assim, as tecnologias de informação e comunicação consomem cerca de 5 a 9% da eletricidade produzida no mundo. No que toca à União Europeia, os centros de dados são responsáveis por 2,7% da procura de eletricidade da UE e o seu consumo deverá aumentar em 3,21% até 2030 (Hidalgo, 2022).

Uma torre de arrefecimento é uma estrutura utilizada para arrefecer o ar num centro de dados, removendo o calor gerado pelos equipamentos de computação. É uma parte fundamental do sistema de climatização de um centro de dados, pois permite manter as temperaturas dentro de um intervalo específico para garantir o funcionamento confiável e eficiente dos equipamentos. As torres de arrefecimento funcionam circulando água fria através de tubos numa série de ventiladores que puxam o ar quente da sala de servidores. O ar quente é então arrefecido ao entrar em contacto com a água fria, antes de ser retornado à sala de servidores (Gomes et al., 2017). De um modo geral, os centros de dados têm-se tornado mais eficientes em termos energéticos através da utilização de torres de arrefecimento em vez de ar condicionado. No entanto, isto gera outro problema ambiental: a utilização excessiva de água (Mytton, 2021).

Para determinados especialistas, a refrigeração da água em centros de dados é atualmente uma das melhores formas de reduzir as emissões de carbono e ser sustentável. O que é preocupante é que a maior parte da água utilizada pelos centros de dados provém geralmente de fontes de água potável que fornecem água a casas e empresas. Em tempos de seca, isto pode ter consequências graves para as populações locais (Islam et al., 2017).

2.2.2 O caminho para a sustentabilidade

Em Janeiro de 2021, alguns operadores de centros de dados e associações industriais na Europa lançaram o *Climate Neutral Data Centre Compact* (CNDCCP), que inclui um compromisso para tornar os centros de dados neutros em carbono até 2030, tendo objetivos intermédios (2025) para a eficiência energética e para a utilização de energia livre de carbono (Banet et al., 2021).

Algumas soluções para alcançar a sustentabilidade são técnicas como a substituição dos sistemas tradicionais de arrefecimento por evaporação da água, por sistemas inovadores de ciclo fechado. Estes sistemas utilizam água reciclada em vez de água doce fresca para reduzir a carga sobre as fontes de água locais.

Outra técnica de eficiência energética é assegurar que os servidores estão a funcionar à máxima capacidade possível durante a maior parte do tempo, enquanto que outros estão desligados, em vez de simplesmente ficarem inativos. Em relação a *hyperscalers*, o método mais eficiente de arrefecimento é mergulhar os servidores num banho de óleo mineral ou outro fluido não condutor. Outra solução é simplesmente localizar os centros de dados em climas frios e ventilar o ar do exterior para dentro dos mesmos. Por exemplo, empresas como a Google e o Facebook tencionam construir centros de dados em locais mais frios, como a Finlândia e a Suécia (Hidalgo, 2022).

Uma outra tendência crescente é a imersão de centros de dados no mar perto de grandes centros metropolitanos. Trata-se de um novo tipo de engenharia marinha que poupa eficazmente energia e recursos. Por exemplo, existe o precedente do Projeto Natick da Microsoft junto a Orkney

na Escócia em 2020, que demonstrou que existe um futuro em que a instalação de centros de dados no mar pode ser fiável e sustentável. A utilização nula de água potável, refrigeração e produtos químicos nocivos, a reduzida ocupação do solo e a possibilidade de utilização de energias renováveis marinhas são razões suficientes para um maior progresso neste tipo de centros. Pode ser uma alternativa para se conseguir satisfazer as necessidades do aumento de dados que se espera nos próximos anos (Roach, 2022).

Têm-se verificado progressos no tema da sustentabilidade energética nos centros de dados, tanto através da utilização de novas tecnologias de refrigeração e energias renováveis, como também através do estudo de novos locais, incluindo regiões frias ou novas áreas subaquáticas e o agrupamento de servidores em grandes centros conhecidos como *hyperscalers*. Neste último caso, quando a utilização dos servidores é aumentada, o número de servidores que necessitam de ser alimentado e arrefecido é reduzido, o que resulta numa poupança de eletricidade consumida (Hidalgo, 2022).

A utilização de fontes de energia renováveis em centros de dados é uma solução que está cada vez mais a ser implementada para fazer face a este consumo de energia. Para além de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa e reduzir o seu impacto ambiental, atenua o efeito da volatilidade dos preços da energia (Agarwal et al., 2021).

2.3 Principais desafios de um *cloud provider*

Os *cloud providers* enfrentam vários desafios na tentativa de tornar a computação na nuvem mais sustentável. Alguns dos principais desafios incluem:

- Consumo de energia: A computação na nuvem requer muita energia para manter os servidores e centros de dados em funcionamento. O setor de IT consome cerca de 7% da eletricidade global, e a nuvem é responsável por uma grande parte dessa energia. Os *cloud providers* precisam de encontrar maneiras de reduzir o consumo de energia, através de investimentos em investigação que contribua para descobrir uma melhor eficiência energética (Cook et al., 2017).
- Emissões de carbono: A energia consumida pelos centros de dados gera emissões de carbono, contribuindo para o aquecimento global. Os *cloud providers* precisam de encontrar maneiras de reduzir as emissões, como através de investimentos em fontes de energia limpa e compensação de emissões (Turek et al., 2021).
- Gestão de Desperdício: Os centros de dados e servidores são atualizados regularmente, o que leva ao descarte de equipamentos antigos. Segundo a Greenpeace, esses equipamentos podem conter materiais perigosos e serem despejados ilegalmente. Os *cloud providers* precisam de encontrar maneiras de descartar os equipamentos de forma responsável, como através da reciclagem de materiais e garantindo que os equipamentos antigos não são despejados ilegalmente (Cook et al., 2017).

- **Transparência:** A transparência é fundamental para garantir que os clientes e as partes interessadas possam entender como os *cloud providers* estão a lidar com questões de sustentabilidade. Certos exemplos de como podem ser mais transparentes são a publicação de relatórios de sustentabilidade, divulgação de informações sobre as fontes de energia usadas, as medidas de compensação de carbono, e fornecimento de informações sobre os impactos ambientais e sociais (Radu , Genete).
- **Reciclagem de água:** A refrigeração dos centros de dados é essencial para manter os servidores em funcionamento, mas pode consumir grandes quantidades de água. Segundo o Uptime Institute, os centros de dados podem consumir até 2% do uso total de água em algumas regiões. Assim, os *cloud providers* precisam de encontrar maneiras de reciclar a água usada para refrigeração, como através do uso de sistemas de refrigeração de água ou reutilizando a água da chuva, por exemplo (Pearl, 2022).
- **Responsabilidade dos clientes:** Os *cloud providers* são responsáveis por garantir que os centros de dados e servidores sejam operados de forma sustentável, mas os clientes também têm um papel a desempenhar. Isso inclui otimizar o uso dos recursos, usar aplicações e serviços mais eficientes e adotar práticas de negócio mais sustentáveis (Pearl, 2022).
- **Colaboração com fornecedores:** Os *cloud providers* podem trabalhar com fornecedores de forma a garantir que os componentes e equipamentos utilizados são produzidos de uma forma sustentável com o mínimo impacto no ambiente. Isso pode incluir escolher fornecedores que tenham práticas de negócios sustentáveis, como a redução de emissões de carbono e a eficiência energética.
- **Monitorização e relatórios:** Por fim, os *cloud providers* precisam de monitorizar e realizar relatórios acerca dos seus impactos ambientais, incluindo emissões de gases de efeito estufa, consumo de água e energia, para garantir que estão a cumprir as suas metas de sustentabilidade e continuamente a identificar áreas onde podem de melhorar (Schroder and Oram, 2021).

2.4 Fatores de escolha de um *cloud provider*

Segundo a Gartner, a maioria das organizações de IT está ciente dos benefícios ambientais oferecidos pelos serviços em nuvem para atingir os seus objetivos de sustentabilidade, mas apenas algumas incluem-nos como critérios na seleção de um *cloud provider*. Antes de se envolver com um *cloud provider* em termos de sustentabilidade, os líderes de IT devem primeiro compreender os próprios objetivos, metas e prazos de sustentabilidade ambiental da organização. Isso permitirá que eles identifiquem fornecedores de serviços em nuvem alinhados aos seus objetivos e reconheçam as oportunidades para que os fornecedores de serviços em nuvem os ajudem a alcançar esses objetivos. A pergunta mais crítica que os líderes de IT devem fazer aos fornecedores de serviços em nuvem é como e em que medida o *provider* reduzirá as emissões associadas aos seus serviços

na nuvem que a empresa pretende consumir durante o período da relação prevista. A resposta deve se relacionar com:

- As próprias operações do *cloud provider* e da sua cadeia de abastecimento
- Como o *cloud provider* pode orientar a empresa no uso e na configuração dos serviços que consome (Angel Borrega et al., 2022).

Os líderes de IT devem exigir transparência dos *cloud providers* sobre as suas metas e compromissos de sustentabilidade ambiental, bem como o desempenho atual e auditorias. O *cloud provider* deve, em conformidade, fornecer informações sobre o impacto ambiental dos serviços de forma transparente e permitir escolhas para gerir esse impacto (Council, 2019).

Centros de dados de classe mundial têm um PUE entre 1,1 e 1,3. Um PUE considerado bom para centros de dados de empresas é menor ou igual a 1,3 e as organizações geralmente têm PUEs em torno de 1,6 nos seus centros de dados *on-premises*. PUEs altos acima de 1,6 indicam ineficiência energética, e portanto muito espaço para melhoria. Uma questão importante na escolha de um *cloud provider* é saber exatamente qual o PUE dos seus centros de dados e quais as iniciativas e projetos de sustentabilidade ambiental em que está envolvido. É portanto relevante pedir estas informações sobre o PUE para as regiões específicas onde os serviços são consumidos, assim como os projetos de sustentabilidade, de forma a serem fatores considerados na escolha do *cloud provider* (Angel Borrega et al., 2022).

As certificações dadas por outras organizações são um fator importante a ser considerado ao avaliar o nível de eficiência energética e compromisso com a sustentabilidade de um *cloud provider*. Várias certificações, como LEED, BREEAM, EU Code of Conduct, Energy Star, ISO 50001, ISO 14001 e ISO 14064, podem diferenciar os *cloud providers*, pois são provas externas das suas capacidades. Na hora de escolher um *cloud provider*, deve-se tentar saber quais as certificações que os seus centros de dados já conquistaram e que certificações têm como objetivo alcançar. Essas consultas devem ser específicas às regiões onde os serviços estão a ser consumidos, pois é importante concentrar-se nos centros de dados que a empresa provavelmente usará e evitar um centro de dados único apresentado como representativo da prática normal, tratando-se de um caso isolado (Angel Borrega et al., 2022).

Outro aspeto importante é compreender a estratégia de energia renovável dos *cloud providers*. É recomendado que os líderes de IT perguntem aos *cloud providers* qual é a percentagem de uso de energia renovável nas regiões que lhe são relevantes, as suas metas de curto, médio e longo prazo e o percentual de energia renovável proveniente de acordos de compra de energia. Estas perguntas mais uma vez devem ser específicas às regiões onde a organização está a provisionar os serviços em nuvem (Angel Borrega et al., 2022). Um indicador simples, como o *Green Energy Coefficient* (GEC), pode ser usado para mostrar a proporção de energia renovável usada por uma empresa. Ao fornecer esse indicador, as empresas podem demonstrar o seu compromisso com uma política de eletricidade limpa, já que poucos *cloud providers* declaram o seu uso efetivo de energia renovável. Ao verificar a fonte de energia usada pelo *provider*, as organizações podem

tomar decisões informadas sobre os seus serviços de computação em nuvem e assim escolher *cloud providers* que priorizem a energia limpa e renovável (Pitalier, 2017).

O *Water Usage Efficiency* (WUE) mede a eficiência do uso de água para refrigerar centros de dados. É importante rastrear a eficiência no uso de água, principalmente em áreas de stress hídrico, já que a água é essencial para refrigerar centros de dados. Atualmente, a maioria dos fornecedores de serviços em nuvem não partilha as informações relativas ao WUE publicamente, mas planeiam incluí-las em relatórios *Environmental, Social, and Governance* (ESG) futuros. Uma organização deve perguntar ao seu *cloud provider* se as regiões onde estão os centros de dados a ser utilizados estão em áreas de stress hídrico, e quais as ações que estão a ser tomadas para reduzir o consumo de água. Assim, uma informação relevante que se deve perguntar é qual o WUE atual dos centros de dados que se pretende usar, o valor objetivo a ser alcançado no futuro e a data objetivo para alcançá-los.

A economia circular pode ser demonstrada nos serviços em nuvem através da sua capacidade de investir em práticas circulares, como a gestão responsável de equipamentos eletrónicos usados e programas de reciclagem para reconfiguração e reabilitação de infraestrutura. Os centros de dados dos *cloud providers* podem contribuir para a economia circular através da reciclagem de calor residual para fins de aquecimento, por exemplo (Angel Borrega et al., 2022).

Os líderes de IT devem entender como os fornecedores de serviços em nuvem relatam e gerem as emissões de gases de efeito estufa. O padrão internacional para relatórios de emissões de gases de efeito estufa é o Protocolo Gases com Efeitos de Estufa que organiza as emissões de carbono nos seguintes âmbitos, juntamente com exemplos relevantes de emissões dentro de cada âmbito para um *cloud provider*:

- Âmbito 1: Todas as emissões diretas provenientes das atividades de uma organização ou sob o seu controlo. Por exemplo, a combustão de combustível por geradores de reserva no seu centro de dados.
- Âmbito 2: Emissões indiretas de eletricidade adquirida e utilizada para alimentar centros de dados e outras instalações. Por exemplo, emissões provenientes da produção comercial de energia elétrica.
- Âmbito 3: Todas as outras emissões indiretas de atividades de uma organização a partir de fontes que ela não controla.

Da perspetiva de um cliente, as emissões das suas cargas de trabalho em funcionamento na nuvem são contabilizadas como emissões indiretas, e fazem parte das suas emissões de Âmbito 3. Cada carga de trabalho colocada gera uma fração do total de emissões do *cloud provider* de cada um dos âmbitos anteriores. A quantidade real varia por carga de trabalho e depende de vários fatores, como os serviços utilizados, a energia consumida por esses serviços, a intensidade de carbono das redes elétricas que servem os centros de dados, onde funcionam, e a aquisição de energia renovável por parte do *cloud provider* (Amazon, 2022b).

Os *cloud providers* têm controle direto sobre as emissões de Âmbito 1 e 2, mas o equilíbrio das emissões de gases de efeito estufa depende também das emissões provenientes da cadeia de abastecimento (Âmbito 3). A maior dificuldade é o carbono incorporado na fabricação de plataformas de hardware, que não é diretamente incluído na estimativa da pegada de carbono dos serviços dos *cloud providers*. A maneira como o *cloud provider* gere e reduz as suas emissões do âmbito 3 é um bom indicativo da sua maturidade sustentável. Os *cloud providers* podem influenciar essas emissões através de uma gestão da cadeia de abastecimento mais sustentável, assim como práticas de economia circular.

Alguns fornecedores de serviços em nuvem não alcançam o patamar de serem neutros em carbono porque isso requer compensação de carbono, o que pode esconder ou distrair da necessidade de reduções reais nas emissões de gases de efeito estufa. No entanto, se um fornecedor de serviços em nuvem pretende alcançar objetivos como neutralidade de carbono ou até mesmo ser positivo em carbono, o *cloud provider* terá que investir em compensações voluntárias de carbono à medida que se aproxima da data-alvo, pois é impossível reduzir as emissões a zero sem algum tipo de compensação. Assim, para avaliar a postura de um *cloud provider* em relação às emissões de gases de efeito estufa, recomenda-se:

- Perguntar como os *cloud providers* gerem e/ou reduzem as suas emissões de Âmbito 3 e como estão a envolver os seus fornecedores nesse esforço.
- Verificar quais as categorias de emissões que estão incluídas nas informações sobre emissões de Âmbito 3
- Verificar se o *cloud provider* teve reduções nas emissões de Âmbitos 1, 2 e 3 nos últimos cinco anos para confirmar se o *cloud provider* está a fazer todos os esforços razoáveis para reduzir emissões.
- Priorizar *cloud providers* que tenham metas e prazos claros para todos os três Âmbitos e que estejam alinhados com os da empresa (Angel Borrega et al., 2022).

2.5 Boas práticas em computação na nuvem

Um método para otimizar o consumo de energia num centro de dados é através da consolidação de máquinas virtuais. O método baseia-se na consideração tanto da carga computacional quanto do consumo de energia de cada máquina virtual no centro de dados, e usa essas informações para tomar decisões informadas sobre quais máquinas virtuais devem ser consolidadas em determinada posição numa mesma máquina física.

O processo começa por recolher dados sobre os níveis de utilização e consumo de energia de cada máquina virtual no centro de dados. Esses dados são então usados para criar um modelo que prevê o consumo de energia de uma máquina física como uma função do número de máquinas virtuais em execução nele e dos seus níveis de utilização. Com base nesse modelo, o método formula um plano de consolidação ótimo que minimiza o consumo de energia enquanto garante que todas

as máquinas virtuais recebem os recursos computacionais necessários. O problema de otimização é resolvido usando uma combinação de heurísticas e programação matemática. Os resultados da otimização são usados para determinar quais máquinas virtuais devem ser consolidadas na mesma máquina física, e o centro de dados é reconfigurado de acordo com isso. A ideia é o método ser repetido periodicamente para garantir que o centro de dados continua eficiente em termos de energia ao longo do tempo, pois os níveis de utilização e consumo de energia de máquinas virtuais podem mudar.

Assim, consolidar máquinas virtuais de uma forma consciente é eficaz na redução do consumo de energia de um centro de dados (Srikantaiah et al., 2022).

Para alcançar maior eficiência energética no uso de computação na nuvem, os utilizadores devem substituir computadores de alta potência por dispositivos de baixa potência e implementar métodos para reduzir o consumo de energia, como gestão de energia para servidores, auto-escalamento de infraestrutura e o uso de técnicas de virtualização para melhor gestão de recursos. O desenvolvimento da computação em nuvem verde é influenciado pela criação e desenvolvimento de centros de dados verdes, que visam maximizar a eficiência energética e minimizar o impacto ambiental através do uso de materiais de baixa emissão de carbono, fontes de energia renováveis e consumo mínimo de energia para operações e manutenção. Assim também se pode concluir que naturalmente é mais sustentável provisionar recursos de centros de dados mais amigos do ambiente (Radu , Genete).

O auto-escalamento pode ser uma ferramenta eficaz na poupança de energia. Este método permite que uma aplicação adquira e liberte, de forma dinâmica, instâncias de máquinas virtuais (VM) à medida que a procura de carga flutua, em vez de sobreprovisionar a infraestrutura. Assim, uma solução de infraestrutura auto-escalável resulta numa menor utilização dos servidores, levando a um menor consumo de energia e consequentemente menos emissões de CO₂. Além disso, os utilizadores podem pagar pelos servidores de forma incremental, em vez de investir grandes custos iniciais para adquirir novos servidores. É necessário garantir que as VMs possam ser provisionadas e inicializadas de forma rápida para atender às necessidades do tempo de resposta quando a carga muda. Caso contrário, a aplicação pode experimentar um intervalo de tempo de resposta mau aos utilizadores. Uma solução é manter uma *pool* de recursos com instâncias de máquinas virtuais pré-inicializadas e pré-configuradas que podem ser alocadas rapidamente quando necessárias (Dougherty et al., 2012).

A migração responsável de máquinas virtuais (VM) pode melhorar a eficiência energética e o desempenho de sistemas de computação em nuvem. Uma solução possível é a migração de VMs que equilibre dinamicamente a carga computacional da infraestrutura de nuvem, com base na procura atual e na disponibilidade de recursos. A solução é capaz de adaptar o consumo de energia dos servidores, alocando as VMs para servidores com capacidade não utilizada ou colocando servidores num estado de baixa potência quando estes não forem mais necessários. Isto leva a uma redução no desperdício de energia, a uma melhor utilização de recursos e a uma pegada de carbono reduzida (Guazzzone et al., 2012).

Uma boa prática pode ser agendar cargas de trabalho com base no custo de operação dos

servidores para melhorar a eficiência. O objetivo seria maximizar a utilização de maneira eficiente em termos de custos. Essa abordagem utiliza princípios teóricos de fila e a relação entre taxa de chegada, taxa de serviço e tempo de resposta. Foi provado que há uma relação exponencial entre o custo de energia e a utilização do servidor, que foi utilizada para selecionar o servidor com máxima eficiência. Além disso, sugeriu-se que a eficiência ótima pode ser alcançada ajustando as configurações do servidor para corresponder à utilização recomendada da carga de trabalho (Peoples et al., 2013).

Outro fator relevante ao nível da sustentabilidade no uso de computação na nuvem, é a escolha dos centros de dados ao provisionar recursos. Pitalier (2017) refere que ao provisionar recursos de centros de dados que usam energia limpa e renovável, as empresas podem reduzir sua pegada de carbono e contribuir para uma mistura de energia mais sustentável. Além disso, ao estar ciente das fontes de energia usadas pelos centros de dados, as organizações podem garantir que os seus serviços de computação em nuvem não estão a danificar o meio ambiente, dependendo de fontes de energia não renováveis ou prejudiciais. A migração para um centro de dados mais amigo do meio ambiente também pode demonstrar o compromisso da empresa com a sustentabilidade e ajudar a sensibilizar sobre o impacto ambiental da computação em nuvem.

Outro aspeto de computação na nuvem capaz de melhorar a eficiência energética é o conceito de armazenamento quente e frio. Segundo Pitalier (2017), os dados são classificados com base na frequência de uso, com os dados mais frequentemente usados sendo considerados "quentes" e armazenados em uma solução de armazenamento mais eficiente em termos de performance. Por outro lado, dados usados em menor frequência são considerados "frios" e armazenados numa solução mais eficiente em termos energéticos. Isso ajuda a reduzir o desperdício de energia e melhorar o impacto ambiental da computação em nuvem. Assim, os arquivos são alocados a diferentes sistemas de armazenamento com base na sua classificação. O *Tier 1* é para dados críticos que dependem diretamente da procura, o *Tier 2* é para dados não críticos, mas ainda úteis, e o *Tier 3* é para dados de arquivo. Cada *Tier* usa uma solução de armazenamento diferente para melhorar o desempenho energético e reduzir o impacto ambiental.

A escolha da linguagem de código, assim como a própria otimização do código também é um fator que contribui para a redução da energia consumida e portanto, para a redução da emissão de gases com efeitos estufa, aquando do desenvolvimento de aplicações (Acar, 2016).

Capítulo 3

Situação Inicial

A utilização da computação em nuvem tornou-se cada vez mais prevalente nos últimos anos, oferecendo uma ampla gama de benefícios, como escalabilidade, eficiência em termos de custos e conveniência. No entanto, também levanta novos desafios de sustentabilidade, dada a natureza intensiva em energia dos centros de dados em nuvem e os impactos ambientais significativos associados à sua operação. Para abordar estes desafios, os principais fornecedores de nuvem comprometeram-se com a sustentabilidade e estabeleceram objetivos ambiciosos para reduzir sua pegada ambiental. Nesta parte, serão percorridos os casos dos *cloud providers* preponderantes, sendo analisados os seus objetivos de sustentabilidade, realizações e ferramentas em operação atualmente. As soluções apresentadas foram construídas a partir de informações e dados disponibilizados pelos próprios *cloud providers*, nomeadamente, a partir dos seus *websites* na internet. Assim pretende-se obter uma compreensão mais clara do estado atual de sustentabilidade na indústria de computação na nuvem.

Muitas organizações têm um prazo para atingir emissões nulas de gases com efeito de estufa (GEE) após 2030, e os seus contratos de serviços na nuvem são tipicamente de cerca de três anos. Para além disso, a mudança entre prestadores de serviços de nuvens é um processo longo, complexo e dispendioso. Sem uma análise cuidadosa dos atuais esforços de sustentabilidade ambiental e dos planos de sustentabilidade dos fornecedores, as empresas podem ficar presas com o parceiro de sustentabilidade errado a longo prazo. Como tal, é imperativo que as empresas considerem o mais rapidamente as questões de desempenho de sustentabilidade (Angel Borrega et al., 2022).

3.1 Amazon Web Services

A AWS é a oferta mais amplamente adotada no mundo, com milhões de utilizadores diários a nível global. Ao nível da sustentabilidade, tem o objetivo de abastecer as suas operações com 100% de energia renovável até 2025, e o compromisso de alcançar emissões de carbono zero, inspirando e capacitando outras empresas para o mesmo.

Em 2021, conseguiram alcançar o marco de 85% da energia utilizada ser energia proveniente de fontes renováveis em toda a empresa. Posto isto, são o maior comprador empresarial de energia

renovável do mundo com 18,5 Gigawatts de capacidade total renovável e 379 projetos globais anunciados de energias renováveis, desde Setembro de 2022.

Na perspetiva da empresa, a sustentabilidade ambiental é uma responsabilidade partilhada entre os clientes e a AWS:

- A AWS é responsável por otimizar a sustentabilidade da nuvem - fornecendo infraestruturas partilhadas e eficientes, gestão da água, e fornecimento de energia renovável.
- Os clientes são responsáveis pela sustentabilidade na nuvem - otimizando as cargas de trabalho e utilização de recursos, e minimizando o total de recursos necessários para as suas cargas de trabalho. Este esforço pode variar desde a seleção inicial de uma linguagem de programação eficiente, adoção de algoritmos modernos, utilização de técnicas eficientes de armazenamento de dados e implementação de infraestruturas de computação corretamente dimensionadas e eficientes.

A AWS recomenda uma série de boas práticas para a gestão da sustentabilidade, por parte dos clientes:

- **Compreender o seu impacto:** Medir o impacto da sua carga de trabalho na nuvem e modelar o impacto futuro da sua carga de trabalho. Os clientes devem incluir todas as fontes de impacto, designadamente os impactos resultantes da utilização dos seus produtos pelos clientes, e os impactos resultantes da sua eventual desativação e reforma. Deve-se comparar o output efetivo com o impacto total da carga de trabalho na nuvem, revendo os recursos e emissões necessários por unidade de trabalho. Utiliza-se estes dados para estabelecer indicadores-chave de desempenho (KPIs), avaliar formas de melhorar a produtividade enquanto reduz o impacto, e estimar o impacto das alterações propostas ao longo do tempo.
- **Estabelecer metas de sustentabilidade:** Por cada carga de trabalho na nuvem, estabelecer objetivos de sustentabilidade a longo prazo, tais como a redução dos recursos computacionais e de armazenamento necessários por transação. Aconselha a modelação do retorno sobre o investimento de melhorias de sustentabilidade para cargas de trabalho existentes, e conceder aos detentores os recursos que necessitam para investir nos objetivos de sustentabilidade. Planear o crescimento, e arquitetar as suas cargas de trabalho para que o crescimento resulte numa intensidade de impacto reduzida medida numa unidade adequada, como por utilizador ou por transação.
- **Maximizar a utilização:** Dimensionar bem as cargas de trabalho e implementar uma conceção eficiente para assegurar uma elevada utilização e maximizar a eficiência energética do hardware subjacente. Por exemplo, dois anfitriões com uma utilização de 30% são menos eficientes do que um anfitrião com 60% devido ao consumo de energia de base por anfitrião. Ao mesmo tempo, eliminar ou minimizar os recursos, processamento, e armazenamento em inatividade para reduzir a energia total necessária para alimentar a carga de trabalho.

- **Antecipar e adotar novas e mais eficientes ofertas de hardware e software:** Os clientes devem acompanhar as evoluções feitas pelos seus parceiros e fornecedores para ajudar a reduzir o impacto das suas cargas de trabalho na nuvem. Para além disso, devem monitorizar e avaliar continuamente novas e mais eficientes ofertas de hardware e software. Projetar para ter flexibilidade de modo a permitir no futuro uma rápida adoção de novas tecnologias eficientes.
- **Utilizar serviços geridos:** A partilha de serviços através de uma ampla base de clientes ajuda a AWS a maximizar a utilização de recursos, o que reduz a quantidade de infraestrutura necessária para suportar cargas de trabalho na nuvem. Assim, os clientes podem partilhar o impacto de componentes comuns de centros de dados como energia e redes, migrando cargas de trabalho para a nuvem e adotando serviços geridos, como o *AWS Fargate* para serviços *serverless*, onde a AWS opera com escalabilidade e é responsável pelo seu funcionamento eficiente.
- **Reduzir o impacto das cargas de trabalho na nuvem:** Reduzir a quantidade de energia ou recursos necessários para utilizar os seus serviços. Por exemplo, eliminar a necessidade de os clientes atualizarem os seus dispositivos para utilizarem os seus serviços. É importante realçar a importância de testar, utilizando vários dispositivos para compreender o impacto esperado e testar com clientes para compreender o impacto real durante a utilização dos seus serviços (Amazon, 2022a).

Ferramentas de *Serverless*

As principais ferramentas *Serverless* oferecidas pelo *cloud provider* são o *AWS Lambda*, o *Amazon API Gateway* e o *AWS Step Functions*. O *AWS Lambda* é um serviço de computação que permite aos utilizadores executar código sem precisar de provisionar ou gerir servidores. Isso fornece às organizações a capacidade de executar aplicações de forma escalável e eficiente em termos de custos, ao mesmo tempo que reduz a pegada de carbono.

A *Amazon API Gateway* é um serviço totalmente gerido pela AWS que permite aos utilizadores criar, implementar e gerir APIs. O *AWS Step Functions* é um serviço que coordena os componentes de aplicações *Serverless* e micro-serviços usando fluxos de trabalho visuais.

Ao oferecer estas ferramentas, a AWS fornece às organizações uma solução completa de computação *Serverless* que as permite construir e executar aplicações sem precisar de gerir infraestruturas. Estas ferramentas oferecem uma solução flexível, escalável e eficiente em termos de custos para computação em nuvem, tornando-as uma escolha popular para aplicações modernas.

Ferramentas de Auto-escalamento

O *Amazon EC2 Auto Scaling* é uma ferramenta de auto-escalamento que garante o número apropriado de instâncias EC2, conforme a carga de trabalho da aplicação. Os utilizadores podem definir o número mínimo e máximo de instâncias que o *EC2 Auto Scaling* ajusta com base na procura por meio de políticas de escalonamento.

Ferramentas de Instâncias Spot

Spot Instances EC2 são uma maneira de diminuir custos e aumentar a eficiência no AWS. As *Spot instances* tornam a capacidade não utilizada do *Amazon EC2* disponível para os clientes a preços mais baixos. Na AWS, têm como objetivo maximizar a utilização dos seus recursos físicos. Ao escolher instâncias *Spot EC2*, uma organização está a executar as cargas de trabalho em hardware que, caso contrário, estaria inativo nos centros de dados. O uso de instâncias Spot aumenta assim a eficiência geral da nuvem, pois mais da infraestrutura física está a ser usada para trabalhos significativos. As instâncias Spot usam preços que mudam automaticamente com base na procura e oferta. Isso significa que o hardware com a maior capacidade livre gera os maiores descontos, por vezes até 90% abaixo dos preços sob procura, para incentivar os clientes a escolherem essa configuração.

Ferramentas de Otimização de código

Amazon CodeGuru é uma ferramenta para *developers* que fornece recomendações inteligentes para melhorar a qualidade do código, identificar linhas de código pouco eficientes e reduzir custos. Inclui dois recursos principais: *CodeGuru Reviewer* e *CodeGuru Profiler*. O *CodeGuru Reviewer* usa *machine learning* para identificar problemas críticos e vulnerabilidades de segurança no código e fornece recomendações para melhoria. O *CodeGuru Profiler* ajuda os *developers* a compreender o comportamento de tempo de execução das suas aplicações e identificar ineficiências para melhorar o desempenho e diminuir custos de computação. O *CodeGuru* pode ser integrado no fluxo de trabalho de desenvolvimento de software e monitoriza continuamente o desempenho da aplicação em produção.

Ferramentas de Agendamento de Instâncias

A solução *Instance Scheduler* da AWS automatiza o início e o fim de instâncias do *Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2)* e do *Amazon Relational Database Service (Amazon RDS)*. Esta solução ajuda a reduzir os gastos de energia e custos operacionais, interrompendo recursos que não estão em uso e iniciando recursos quando a sua capacidade é necessária. Por exemplo, uma empresa pode usar o *Instance Scheduler* na AWS num ambiente de produção para interromper automaticamente as instâncias fora do horário comercial diariamente. Se todas as instâncias de uma organização estiverem sempre em execução com utilização total, esta solução pode resultar em até 70% de redução de custos para aquelas instâncias que são necessárias apenas durante o horário comercial regular.

Ferramentas de Automação do ciclo de vida

A *Amazon S3* tem várias classes de armazenamento para escolha, com base nas exigências de acessibilidade, durabilidade e custo dos seus dados. As classes de armazenamento são projetadas para oferecer as opções de armazenamento mais económicas para diferentes padrões de acesso a dados. As classes de armazenamento S3 são adequadas para todos os usos, incluindo aqueles com necessidades de desempenho exigentes, requisitos de residência de dados, padrões

de acesso imprevisíveis ou armazenamento de arquivo. As classes de armazenamento S3 incluem *Intelligent-Tiering* para gestão automática de *tier* consoante a eficiência energética para reduzir os custos de acesso a objetos com padrões de acesso desconhecidos, *Standard* para dados acedidos frequentemente, *Standard-IA* e *One Zone-IA* para dados acedidos menos frequentemente, *Instant Retrieval* para dados arquivados que precisam de acesso imediato, *Flexible Retrieval* para dados de longo prazo raramente acedidos e *Deep Archive* para arquivamento de longo prazo com uma recuperação dos dados em horas. .

O *Amazon S3 Lifecycle* é utilizado para gerir objetos de maneira eficiente em termos de custos. Consiste num conjunto de regras que determinam as ações a serem tomadas num grupo de objetos, como a transição para outra classe de armazenamento ou até mesmo a eliminação de objetos. Os custos associados a essas ações variam e dependem da regra específica escolhida.

Ferramentas de Monitorização

O *AWS Trusted Advisor* é uma ferramenta de monitorização que fornece práticas e recomendações para reduzir o impacto ambiental da computação na nuvem, incluindo a otimização da utilização de recursos e a redução de resíduos. Ele fornece *insights* em áreas como utilização de tipo de instância, recursos subutilizados e serviços desnecessários, permitindo que os clientes tomem decisões informadas sobre o seu uso da nuvem.

A Ferramenta *AWS Carbon Footprint* é uma ferramenta que permite que as organizações meçam, acompanhem e planeiem as emissões de carbono provenientes do uso dos serviços da AWS, alinhando-se aos padrões do Protocolo de Gases de Efeito Estufa (GHG). Além de medir as emissões de carbono atuais, a ferramenta permite que as organizações acompanhem o progresso ao longo do tempo e identifiquem oportunidades para otimizar a infraestrutura de nuvem e reduzir as emissões de carbono. A ferramenta também ajuda as organizações a planejar o futuro, fornecendo previsões sobre como as emissões mudarão à medida que a Amazon avança em direção a operar com 100% de energia renovável. Em geral, a Ferramenta *AWS Carbon Footprint* fornece às organizações as ferramentas necessárias para medir, relatar, acompanhar e planejar com precisão suas emissões de carbono e contribuir para um futuro mais sustentável (AWS, 2022).

3.2 Microsoft Azure

Microsoft Azure comprometeu-se a concentrar-se em quatro áreas-chave de impacto ambiental para as comunidades locais - carbono, água, resíduos e ecossistemas. Tal como a AWS, também tem o objetivo de usar 100% energia de fontes renováveis até 2025 e repor mais água do que a que consome até 2030. Para além disso, tenciona alcançar a certificação de não desperdício até 2030 e também não contribuir para a desflorestação nas novas construções de infraestruturas.

À medida que operacionalizam o seu plano de sustentabilidade nas suas instalações, partilham os seus conhecimentos, ferramentas e métodos de desenvolvimento para os clientes poderem replicar. *Microsoft Cloud for Sustainability* é a primeira nuvem da Microsoft transversal e concebida para funcionar em múltiplas indústrias. As soluções podem ser personalizadas para necessidades

específicas da indústria, quer um cliente esteja no retalho, energia, fabrico, ou outra indústria. No seu núcleo está um modelo de dados que se alinha com os Protocolos de Gases com Efeito de Estufa - o padrão na identificação e registo de informação sobre emissões.

Este lançamento da *Microsoft Cloud for Sustainability* fornece soluções Microsoft e de parceiros em quatro áreas de investimento para capacitar as organizações nos seus esforços de sustentabilidade:

1. **Unificar a inteligência de dados** - O Gestor de Sustentabilidade da Microsoft permite às organizações introduzir, extrair e compreender facilmente os dados. Centraliza os dados relacionados com as emissões facilitando assim a recolha de dados, a sua partilha, e a elaboração de relatórios. Os clientes podem ver resultados com os modelos de cálculo pré-construídos e podem ainda configurar cálculos adicionais para apoiar as suas necessidades mais específicas. Os dados unificados representam a base da abordagem da Microsoft à sustentabilidade, proporcionando aos seus clientes uma integração de dados *self-service* e uma experiência de cálculo com conectores para aplicações de parceiros-chave.
2. **Construir uma infraestrutura de IT sustentável** - A substituição de ferramentas, sistemas e atividades por opções mais eficientes em termos energéticos, incluindo a migração de cargas de trabalho para a nuvem, é um dos primeiros passos para a construção de infraestruturas de IT sustentáveis. A mudança de *on-premises* para o Microsoft Azure pode reduzir as emissões de carbono e energia. Para ajudar as organizações a medir o impacto de sustentabilidade da migração para a nuvem, em Outubro de 2021, criaram o Microsoft *Emissions Impact Dashboard (EID)*. O EID fornece aos clientes dados de emissões verificados independentemente associados à utilização do Azure. As organizações também ganham visibilidade nas emissões evitadas através da migração das cargas de trabalho para a nuvem.
3. **Reduzir o impacto ambiental das operações** - As organizações impulsionam o progresso da sustentabilidade através da redução, remoção e substituição de processos que têm um elevado impacto ambiental. *Microsoft Cloud for Sustainability* dá prioridade a soluções que ajudam a reduzir o consumo de energia, criam instalações inteligentes, e concentram-se em colaboração e ferramentas de planeamento.
4. **Criar cadeias de valor sustentáveis** - A transparência em toda a cadeia de valor de uma organização é imperativa para alcançar progressos no sentido de se tornar mais sustentável, e as organizações precisam de dados precisos e fiáveis a montante e a jusante. Isto é gerido principalmente através de dados baseados em inquéritos ou obtendo manualmente classificações de fornecedores e dados de organizações como a *EcoVadis*, que classifica mais de 90.000 empresas na sua sustentabilidade e é um dos principais fornecedores desta informação. A Microsoft está a trabalhar numa parceria com a *EcoVadis* para unificar os dados com a *Microsoft Cloud for Sustainability*.

A Microsoft alargou os seus objetivos de sustentabilidade ambiental para além da simples forma como operam os centros de dados. Encontra-se ativamente empenhada em mais de 40

projetos em todo o mundo para ajudar a ter um impacto local e melhorar os resultados ambientais. Nomeadamente, estão envolvidos nos projetos:

- Otimização da utilização da água através da utilização de contadores de água inteligentes para ajudar a mitigar uma crise de água nos hospitais regionais da África do Sul;
- Reflorestação em comunidades ecológicas com bosques nativos na Irlanda;
- Melhorar a qualidade e a disponibilidade da água comunitária, através do restauro de habitats naturais para castores no centro do estado de Washington;
- Gestão florestal na zona urbana de Des Moines, Iowa, através da plantação de árvores e promoção da sua gestão;
- Promoção de eficiência energética, através de um projeto de envolvimento comunitário para melhorar a eficiência energética e a poupança de energia numa universidade irlandesa;
- Parcerias com projetos de energias renováveis, como por exemplo, a preparação de trabalhadores qualificados para tirar partido de trabalhos de energia solar em universidades no estado da Virgínia, nos Estados Unidos da América (Azure, 2022).

Ferramentas de *Serverless*

Ao analisar as ferramentas de computação *Serverless* oferecidas pelo Microsoft Azure, pode-se destacar três soluções principais: *Azure Functions*, *Azure Event Grid* e *Azure Logic Apps*.

O *Azure Functions* é um serviço de computação *Serverless* que permite aos utilizadores executar código acionado por eventos sem ser preciso gerir infraestrutura. Isso significa que as organizações podem reduzir o seu impacto ambiental, provisionando recursos apenas quando forem necessários. Além disso, o *Azure Functions* oferece uma ampla gama de linguagens de programação, incluindo *C#*, *Java*, *JavaScript*, e *Python*, tornando-o acessível a uma ampla gama de *developers*.

O *Azure Event Grid* é um serviço de roteamento de eventos totalmente gerido pela Microsoft que permite o processamento baseado em eventos com o *Azure Functions*. Este serviço permite que as aplicações respondam a eventos em tempo real de uma forma eficiente e escalável, sem que sejam necessários recursos adicionais.

Por fim, o *Azure Logic Apps* é um serviço que ajuda a automatizar processos de negócio e integrar aplicações, dados, sistemas e serviços. Permite a criação de fluxos de trabalho personalizados e a integração com uma ampla gama de aplicações e serviços, incluindo o *Azure Functions*, o *Azure Event Grid* e o *Office 365*.

Em conclusão, o Microsoft Azure oferece uma ampla gama de ferramentas de computação *Serverless* que permitem aos *developers* e às organizações construir e executar aplicações escaláveis, eficientes em termos de custos e com baixo impacto ambiental. Estas soluções são acessíveis, flexíveis e escaláveis, tornando-as uma opção popular para aplicações modernas.

Ferramentas de Auto-escalamento

O Microsoft Azure oferece a funcionalidade de auto-escalamento através do *Azure Autoscale* que permite às organizações adaptarem o número de máquinas virtuais de acordo com as mudanças na procura. A configuração do *Azure Autoscale* é baseada numa série de métricas como a utilização de CPU, consumo de memória e largura de banda, e pode ser aplicado tanto a máquinas virtuais como a serviços na nuvem. O *Azure Autoscale* permite aos utilizadores ajustar dinamicamente o número de recursos disponíveis de acordo com as necessidades da aplicação, garantindo a eficiência e a escalabilidade da infraestrutura de nuvem.

Ferramentas de Instâncias *Spot*

As Máquinas Virtuais *Spot* do Azure permitem redução de custos ao utilizar capacidade não utilizada, mas elas podem ser paradas a qualquer momento pelo Azure quando for preciso uma maior capacidade do centro de dados. Estas máquinas virtuais são adequadas para cargas de trabalho que podem lidar com interrupções, como processamento em lote e cargas de computação intensas. A disponibilidade da capacidade varia e não há nenhuma garantia de disponibilidade para estas máquinas virtuais. Em caso de paragem, o Azure dá um aviso 30 segundos antes.

Ferramentas de Otimização de código

A Microsoft Azure fornece uma ferramenta de análise de código chamada *Azure Code Analysis tool* para ajudar a identificar e resolver problemas comuns de desempenho na programação de aplicações desenvolvidas no Azure. A ferramenta usa regras específicas para marcar o código com problemas de desempenho e fornece sugestões para corrigi-los, aparecendo como avisos ou erros de compilador com correções de código. Isso ajuda a garantir a escalabilidade, o comportamento e o desempenho de aplicações no ambiente de nuvem, diminuindo a energia necessária, e portanto reduzindo a pegada de carbono. Para além disto, a Microsoft dá exemplos reais de casos de estudo em que a ferramenta identifica erros e sugere práticas mais sustentáveis.

Ferramentas de Agendamento de Instâncias

A função *Start/Stop VMs* serve para iniciar ou parar instâncias de máquinas virtuais Azure. Inicia ou para máquinas virtuais em horários definidos pelo utilizador, fornece *insights* através do *Azure Application Insights* e envia notificações opcionais usando grupos de ação.

O *Start/Stop VMs* oferece uma opção de automação descentralizada de baixo custo para os clientes que desejam otimizar os seus custos na máquina virtual.

Ferramentas de Automação do ciclo de vida

O armazenamento do Azure oferece diferentes camadas de acesso para organizar dados com base na frequência com que estes são acedidos e por quanto tempo serão mantidos, a fim de gerir os custos consoante as necessidades específicas de armazenamento. As três camadas são *Hot*, *Cool* e *Archive*, cada uma otimizada para diferentes níveis de frequência de acesso e com custos variáveis de armazenamento e acesso. A camada *Hot* é otimizada para dados com frequência de acesso

elevada, a camada *Cool* é para dados com acesso pouco frequente armazenados por um mínimo de 30 dias, e a camada *Archive* é para dados com acesso raro e latência flexível armazenados por um mínimo de 180 dias.

Blob storage lifecycle management oferece uma política baseada em regras que permite a transição dos dados para a camada de acesso desejado quando as condições específicas são atendidas. Também pode ser usado para eliminar dados no final da sua vida útil.

Ferramentas de Monitorização

O *Azure Advisor* é uma ferramenta que ajuda a otimizar *deployments* fornecendo recomendações personalizadas para melhorar a fiabilidade, segurança, desempenho e reduzir custos. Os utilizadores podem seguir as ações sugeridas, adiá-las ou dispensá-las e usar o *Advisor Quick Fix* para remediar recomendações em vários recursos simultaneamente com apenas alguns cliques.

A ferramenta também inclui uma pontuação do *Advisor* que permite aos utilizadores monitorizar o progresso de forma a otimizar o custo, segurança, fiabilidade, excelência operacional e desempenho dos recursos do Azure. Além disso, o *Advisor* reúne recomendações de vários serviços do Azure, incluindo *Azure Security Center*, *Azure Cost Management*, *Azure SQL DB Advisor*, *Azure App Service* entre outros, sendo um portal central para visualizar e agir em recomendações de otimização.

O Microsoft Azure também desenvolveu ferramentas para apoiar a sustentabilidade ambiental em computação na nuvem. O *Azure Sustainability Calculator* é uma ferramenta que ajuda as organizações a estimar a pegada de carbono da sua utilização do Azure, fornecendo recomendações para conseguirem reduzi-la (Azure, 2023).

3.3 Google Cloud

Atualmente, o Google é já neutro em carbono nas suas operações desde 2007, mas o seu objetivo é operar com energia livre de carbono 24 horas por dia, em todos os centros de dados, até 2030. Com a partilha de tecnologias e metodologias, inspiram organizações de todo o mundo a fazerem a transição para sistemas mais sustentáveis e livres de carbono. Para além disso, têm como ambição maximizar a reutilização de recursos finitos nas suas operações, produtos e cadeias de abastecimento. Também até 2030, tencionam reabastecer 120% da água que consomem, e estão a apoiar ativamente a segurança dos ecossistemas onde operam.

No que toca aos seus resíduos, 78% deixaram de ir para aterros, promovendo a reutilização de recursos. Considera que os seus centros de dados são 2x mais eficientes que um centro de dados normal, apresentando um PUE médio de 1,1 (Google, 2022b).

A Google conta com uma série de ferramentas para ajudar a informar com precisão as emissões de carbono associadas ao uso do Google Cloud e a tomar medidas para reduzir a pegada de carbono.

A Google fornece práticas simples que podem ajudar a minimizar a pegada de carbono ao otimizar o uso da nuvem. Algumas dessas práticas são disponibilizadas pelo *Active Assist*, uma

solução que fornece recomendações automatizadas e personalizadas para otimizar o uso da nuvem como:

- Identificar e eliminar recursos de VMs ociosas;
- Redimensionar corretamente as instâncias de VM;
- Identificar e eliminar VMs ociosas;
- Reivindicar ou remover projetos abandonados;
- Agendar as VMs para executarem quando forem necessárias;
- Remediar as instâncias de *Cloud SQL* ociosas e sobredimensionadas.

Uma arquitetura não otimizada resulta no uso ineficiente de recursos de nuvem, especialmente com cargas de trabalho *on-premises* que foram migradas para a nuvem sem uma otimização adequada. Para melhorar a eficiência de recursos na nuvem, as seguintes práticas podem ser implementadas para otimizar a arquitetura:

- Criar recursos conforme necessário: Para maximizar a eficiência, é importante criar recursos na nuvem somente quando eles são necessários e não os manter em execução continuamente. Isso pode ser alcançado através do uso de agendamento de VMs ou de recursos elásticos dentro de serviços na nuvem, como o uso do *Compute Engine* para dimensionar automaticamente VMs que executam servidores web sem estado ou o uso do *Dataflow* para dimensionar automaticamente trabalhadores para uma pipeline de dados em *streaming*.
- Usar *containers*: Considerar o uso de *containers* para empacotar cargas de trabalho e de um orquestrador de *containers*, como o *Google Kubernetes Engine (GKE)*, para executá-los de forma eficiente. O GKE permite uma programação eficiente de *containers* num *cluster* de VMs com base nas exigências de recursos, e vários *containers* podem compartilhar os recursos de uma única VM, se as suas exigências de recursos o permitirem.

Também sugerem a refatoração de aplicações monolíticas em micro-serviços, ou seja a alteração do código das grandes aplicações para funcionarem à base de micro-serviços independentes da aplicação. As aplicações monolíticas combinam todos os seus módulos num único programa, o que torna difícil alocar recursos para executar módulos específicos. Portanto, as aplicações monolíticas podem ser desafiadoras de serem executadas e escaladas de forma eficiente e, portanto, podem ter uma pegada de carbono maior em comparação com uma implementação baseada em micro-serviços.

Os micro-serviços separam os módulos da aplicação em programas próprios mais leves. Os micro-serviços podem ser escalados independentemente uns dos outros e usam formas diferentes de recursos (por exemplo, tipos de máquinas VM, alocações de vCPU e memória do *Cloud Run* ou

tipos de instâncias do *App Engine*) adequadas para executar o serviço. A escalabilidade dos micro-serviços resulta num uso mais eficiente dos recursos da nuvem por meio de uma escalabilidade granular e de uma redução de sobredimensionamento, o que resulta em menores custos e emissões.

Usar menos serviços de nuvem para separar os recursos de armazenamento e computação pode trazer benefícios significativos para cargas de trabalho de processamento e análise de dados, como *Apache Hadoop* e *Apache Spark*. Quando essas cargas de trabalho partilham a mesma infraestrutura tanto para armazenamento quanto para computação, é necessário uma ampla infraestrutura para acomodar tanto o armazenamento de dados quanto os requisitos de computação no seu pico. No entanto, isso frequentemente leva à baixa utilização dos recursos de computação, resultando em recursos ociosos e custos mais elevados. Além disso, essa baixa utilização resulta em emissões desnecessárias, tornando importante considerar o uso de serviços na nuvem que separem os recursos de armazenamento e computação para otimizar a utilização dos recursos, reduzir custos e minimizar emissões.

Migrar cargas de trabalho para serviços geridos: Ofertas geridas podem minimizar recursos não utilizados automaticamente escalando as cargas de trabalho e oferecem outros recursos que podem reduzir os seus requisitos de infraestrutura (Google, 2022c).

Ferramentas de *Serverless*

No Google Cloud, as principais ferramentas de computação *Serverless* oferecidas são o *Cloud Functions*, o *Cloud Run* e o *Cloud Scheduler*.

O *Cloud Functions* é uma plataforma de computação *Serverless* que suporta a execução automática de código em resposta a eventos, oferecendo a possibilidade às organizações de manter aplicações e serviços altamente escaláveis e eficientes em termos de custos, ao mesmo tempo em que reduzem a pegada de carbono.

Já o *Cloud Run* é uma plataforma de computação totalmente gerida pela Google, permitindo aos utilizadores executar *containers* sem a necessidade de gerir a infraestrutura.

Por fim, o *Cloud Scheduler* é um *scheduler* de tarefas totalmente gerido que possibilita aos utilizadores agendar comandos para serem executados numa instância gerida pelo *cloud provider*.

Com essas ferramentas, o Google Cloud oferece uma solução de computação *Serverless* completa e robusta para as organizações, possibilitando-as de construir e executar aplicações sem se preocupar com a gestão da infraestrutura. Estas ferramentas são uma solução flexível, escalável e económica para a computação em nuvem, tornando-as uma opção popular para aplicações modernas.

Ferramentas de Auto-escalamento

Os grupos de instâncias geridas (*Managed Instance Groups*, MIGs) possuem capacidades de auto-escalamento que permitem o ajuste automático do número de instâncias em resposta a variações na procura. O auto-escalamento é uma ferramenta importante para garantir a capacidade de lidar com picos de tráfego e reduzir os custos em momentos de baixa procura. A política de

auto-escalamento é definida pelo utilizador, e o *autoscaler* executa o ajuste automático baseado na carga medida e nas configurações especificadas.

O processo de auto-escalamento funciona por meio do aumento do número de VMs no MIG em momentos de carga elevada (escalonamento para fora) e da diminuição do número de VMs em momentos de baixa procura (escalonamento para dentro).

Ferramentas de Instâncias *Spot*

As máquinas virtuais *Spot* da Google são instâncias de computação mais económicas que são adequadas para trabalhos em lote e cargas de trabalho que podem lidar com possíveis interrupções. Fornecem os mesmos tipos de máquinas e desempenho que as instâncias de computação regulares e podem economizar até 91% nos custos do *Compute Engine* se as aplicações forem tolerantes a falhas. Ao complementar as VMs regulares com VMs *Spot*, pode-se concluir o trabalho intensivo de computação mais rapidamente e economizar tempo e dinheiro. As VMs *Spot* são ideais para computação de alta performance, *big data* e testes.

Ferramentas de Otimização de código

O *Cloud Profiler* é um perfilador estatístico que recolhe continuamente informações de uso de computação e alocação de memória das aplicações de produção. Ele atribui essas informações ao código-fonte da aplicação, ajudando os *developers* a identificar as partes da aplicação que consomem mais recursos e dando sugestões de outra forma para melhorar o desempenho do código.

Ferramentas de Agendamento de Instâncias

Criar agendamentos de instância permite iniciar e parar automaticamente máquinas virtuais. Isso ajuda na otimização de custos ao gerir de forma eficiente as VMs. As agendas podem ser usadas para cargas de trabalho recorrentes ou de uma única vez, como executar as VMs apenas durante horas de trabalho ou para fornecer capacidade para um evento único. Para implementar as agendas, é preciso criar uma política de recursos que especifique o comportamento de início e paragem e anexar a política às VMs do Google Cloud.

Ferramentas de Automação do ciclo de vida

O *Google Cloud Storage* oferece três opções para armazenar dados baseado na frequência de acesso aos dados: *Standard*, *Nearline* e *Coldline*. O armazenamento *Standard* é ideal para dados frequentemente acedidos ou armazenados por períodos curtos de tempo. O *Nearline* é uma opção de baixo custo para dados acedidos com pouca frequência com uma duração mínima de armazenamento de 30 dias, tornando-o ideal para análise de dados mensais, backups, conteúdo multimédia ou arquivos. O *Coldline* é uma opção de muito baixo custo para dados acedidos no máximo uma vez por trimestre, com uma duração mínima de armazenamento de 90 dias. Para dados mantidos inteiramente para backup ou arquivos, o armazenamento Archive é a opção *mais* económica e eficiente

Para a gestão de armazenamento automático por políticas, a ferramenta da Google é o *Object Lifecycle Management*.

Ferramentas de Monitorização

O *Google Cloud Monitoring* oferece *dashboards* pré-configurados para recolher métricas relativas aos serviços do Google Cloud, além de suportar monitorização de nuvens híbridas e *multi-cloud*. O *Google Cloud Monitoring* fornece uma linguagem de *query* avançada para identificar tendências e padrões através de métricas, eventos e metadados, o que pode ajudar a prevenir problemas. O serviço também inclui objetivos de nível de serviço para medir a experiência do utilizador e melhorar a colaboração com *developers*. Usando um serviço integrado com métricas, monitorização de tempos de atividade, *dashboards* e alertas, é possível reduzir o tempo gasto a identificar problemas e ineficiências.

O *Google Cloud Carbon Footprint* é uma ferramenta que permite que os utilizadores visualizem as emissões de carbono no uso do Google Cloud e monitorizem o perfil das emissões na nuvem ao longo do tempo por projeto, produto e região. A metodologia de cálculo é publicada para revisão para atender ao GHG Protocol, e os dados podem ser exportados para o *BigQuery* para análise. Os dados do *Carbon Footprint* são integrados com um recomendador de projeto, que fornece estimativas de reduções brutas de emissões removendo projetos ociosos (Google, 2022a).

3.4 Outros cloud providers

A OVHcloud é um *player* global e o principal *cloud provider* europeu no fornecimento de soluções de nuvem e *Bare Metal*. A OVHcloud tem-se comprometido em manter um espírito inovador e em ajudar os seus clientes na sustentabilidade da nuvem.

Com uma infraestrutura robusta que abrange mais de 183 países e 5 continentes, a OVHcloud mantém uma rede mundial de fibra ótica e fabrica os seus próprios servidores e centros de dados com os componentes mais recentes e inovadores, oferecendo soluções eficientes e rentáveis.

A OVHcloud desmonta 100% dos seus servidores e testa rigorosamente os seus componentes para dar-lhes uma segunda vida. O uso de componentes reutilizados nos seus servidores permite prolongar a sua vida útil com uma duração média de 4,5 anos até 9 anos, evitando assim algumas emissões de carbono na fabricação. Além disso, 24 dos seus 33 centros de dados são em edifícios reabilitados.

Este *cloud provider* está consciente da necessidade de serem transparentes nos seus objetivos e desempenho ambientais. Tentam incentivar os seus clientes e parceiros a ampliar ainda mais o potencial sustentável da nuvem, bem como acompanhar as melhores práticas do ponto de vista operacional. Como parte dos seus compromissos, comunicam de forma transparente o seu impacto ambiental geral, não apenas em termos de emissões de gases de efeito estufa, mas também a gestão de energia, água, resíduos e transporte. Também partilham a sua pegada de carbono desde 2017.

Acabaram o ano de 2022 com um PUE médio de 1,28 nos seus centros de dados, e 77% da energia usada foi energia renovável. O seu WUE foi de 0,26 L/KWh. Para além disso, 25% dos seus componentes são reciclados.

A OVHcloud é uma empresa comprometida em recorrer apenas a fontes renováveis e de baixo carbono até 2025. Compromete-se a contribuir para o Global NetZero, pretendendo reduzir as suas emissões de carbono, equivalentes aos *Scopes* 1 e 2 até 2025 e a todos os 3 *Scopes* até 2030. Além disso, a empresa tenciona alcançar zero desperdício para aterros até 2025, incluindo resíduos dos seus processos e em todas as áreas geográficas (OVHcloud, 2022).

O Alibaba Cloud é um dos principais *cloud providers* da China, oferecendo uma ampla gama de serviços *cloud*. A missão do Alibaba Cloud é fornecer soluções de computação em nuvem de alta performance e escaláveis para ajudar as organizações a transformar as suas operações e alcançar os seus objetivos de negócio.

Este *cloud provider* tem uma forte ênfase em sustentabilidade e tem como objetivo tornar-se uma empresa neutra em carbono até 2030. Para alcançar este objetivo está a investir em fontes de energia renováveis, incluindo hidráulica, eólica e solar. Além disso, este *cloud provider* está a trabalhar para aumentar a eficiência energética nos seus centros de dados e a reduzir as emissões de carbono associadas aos seus serviços de transporte e logística.

Quanto a projetos de sustentabilidade ambiental, tem parcerias com organizações ambientais para compensar as emissões de carbono da empresa. Além disso, a Alibaba Cloud oferece algumas ferramentas e soluções para ajudar os clientes a medir e reduzir a sua pegada de carbono, como ferramentas de monitorização e otimização de uso de energia para os seus centros de dados (Alibaba, 2021).

A Oracle Cloud é uma das principais fornecedoras de serviços de *cloud computing* do mundo, sediada nos Estados Unidos. A Oracle oferece uma ampla gama de serviços de nuvem, incluindo infraestrutura, plataforma e SaaS. A missão da Oracle Cloud é oferecer soluções inovadoras e escaláveis para ajudar as organizações a transformar as suas operações e alcançar os seus objetivos de negócio.

Este *cloud provider* tem como meta ter zero emissões líquidas de carbono até 2050, tendo como objetivo alimentar as suas operações em 100% energia renovável até 2025. Para alcançar este objetivo, o Oracle Cloud está a investir em fontes de energia renováveis, a reduzir o desperdício através de práticas circulares, e está a trabalhar para aumentar a eficiência energética nos seus centros de dados e a reduzir as emissões de carbono associadas aos seus serviços de transporte e logística. Também oferece ferramentas de monitorização e aperfeiçoamento do consumo de energia nos seus centros de dados que ajudam os seus clientes a avaliar e a diminuir a sua pegada de carbono (Oracle, 2022).

Capítulo 4

Manual de Boas Práticas

Nos últimos anos, o uso de computação na nuvem tem-se tornado cada vez mais popular, à medida que as empresas procuram aproveitar os seus benefícios de poupança de custos e usufruir da sua escalabilidade. No entanto, com o aumento do uso da computação em nuvem, tem-se registado uma crescente preocupação com o impacto ambiental dos centros de dados e o seu consumo de energia. Este capítulo foca-se em construir uma abordagem para que as organizações consigam ser mais sustentáveis no uso da computação em nuvem.

Com base numa revisão da literatura e considerando o trabalho já realizado na matéria, este guião apresentará dois aspetos-chave da sustentabilidade ambiental no uso de computação em nuvem. Em primeiro lugar, será explicado como as emissões de carbono devem ser compreendidas pelas organizações. Depois, será exposta a razão pela qual o caminho para a sustentabilidade deve passar por uma visão de responsabilidade partilhada entre as organizações e os *cloud providers*. Para além disto, serão discutidas as características essenciais que devem ser consideradas ao escolher um *cloud provider* sustentável e finalmente serão exploradas as boas práticas que as organizações podem adotar para promover a sustentabilidade ambiental no seu uso de computação na nuvem. O objetivo deste manual é fornecer *insights* e recomendações para as organizações que procuram adotar práticas sustentáveis no seu uso da computação na nuvem, contribuindo para o objetivo mais amplo de promover um futuro mais sustentável para a indústria da tecnologia.

4.1 Compreender as emissões das cargas de trabalho

Para gerir e mitigar adequadamente as suas emissões de gases de efeito estufa, as organizações devem primeiro compreender como os *cloud providers* relatam e gerem as suas emissões. O Protocolo Gases com Efeito de Estufa é o padrão internacional utilizado para relatar as emissões de carbono, e organiza as emissões em três âmbitos diferentes. O âmbito 1 inclui todas as emissões diretas de uma organização, tais como a combustão de combustível em geradores de reserva num centro de dados. Já o âmbito 2 inclui as emissões indiretas de eletricidade utilizada para alimentar centros de dados e outras instalações, como as provenientes da produção comercial de energia

elétrica. Por fim, o âmbito 3 engloba todas as outras emissões indiretas de atividades de uma organização a partir de fontes que não são controladas por ela.

Do ponto de vista da organização, as emissões provenientes das suas cargas de trabalho em funcionamento na nuvem são contabilizadas como emissões indiretas e fazem parte das emissões de âmbito 3. Cada carga de trabalho colocada funciona como uma fração do total de emissões do *cloud provider* em cada um dos âmbitos anteriores. A quantidade real de emissões varia de acordo com vários fatores, como os serviços utilizados, a energia consumida por eles, a intensidade de carbono das redes elétricas que servem os centros de dados onde eles operam e a aquisição de energia renovável por parte do *cloud provider*.

4.2 Responsabilidade partilhada

O primeiro passo para uma organização atingir melhores resultados de sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem é compreender que se deve basear num modelo de responsabilidade partilhada entre as organizações consumidoras e os *cloud providers*. Compete aos *cloud providers* operarem de forma a melhorar os seus resultados de sustentabilidade ambiental, assim como relatarem sobre o seu impacto ambiental de maneira transparente. Por outro lado, as organizações têm a responsabilidade de utilizar os serviços de nuvem de forma sustentável, pesquisando e compreendendo o seu consumo de carbono a partir da sua utilização de nuvem e utilizando esse conhecimento para melhorar as suas práticas de utilização da nuvem. Essa relação interdependente destaca a necessidade de ambas as partes trabalharem ativamente na promoção de práticas de computação em nuvem ambientalmente sustentáveis.

4.3 Escolha de *cloud provider*

A maioria das organizações conhece os benefícios ambientais oferecidos pelos serviços de nuvem para alcançarem os seus objetivos de sustentabilidade, mas apenas algumas incluem esses critérios na hora de escolher um *cloud provider*. As organizações devem compreender bem os seus objetivos, metas e prazos de sustentabilidade antes de considerar qualquer *cloud provider* para identificarem *cloud providers* alinhados com os seus próprios objetivos e reconhecer oportunidades que os *providers* consigam ajudar a alcançar.

A questão mais crítica a ser feita aos *cloud providers* é de que forma poderão reduzir as emissões associadas aos serviços que a empresa utilizará durante o período de relacionamento previsto. Para isso, há um leque grande de informações que devem exigir ao *provider*, como a eficiência energética (PUE) dos centros de dados, a eficiência do uso de água (WUE), as iniciativas e projetos de sustentabilidade ambiental, e as certificações ambientais que detém, como *LEED*, *BREEAM*, *Energy Star*, entre outras. Além disso, devem escolher um *provider* que seja transparente sobre as suas metas e compromissos ambientais, e que forneça informações claras sobre o impacto ambiental dos seus serviços. Outra consideração importante é verificar se o *cloud provider* adere a práticas responsáveis de gestão de resíduos e descarte de equipamentos obsoletos. Além disso,

é crucial avaliar o uso de fontes de energia renováveis e verificar se os seus centros de dados estão localizados em regiões de energia limpa. Uma outra prática indicativa de responsabilidade sustentável por parte do *cloud provider* é se este colabora com grupos de pesquisa e desenvolvimento para encontrar soluções mais eficientes em termos de energia para implementar nas suas infraestruturas de nuvem. É portanto relevante que o *cloud provider* escolhido partilhe os mesmos valores e objetivos de sustentabilidade da empresa de modo a ajudar a alcançar os objetivos de sustentabilidade de forma mais rápida e eficiente.

Em suma, ao escolher um *cloud provider*, é fundamental levar em consideração o impacto ambiental dos seus serviços, bem como as suas práticas e compromissos ambientais.

4.4 Boas Práticas de Sustentabilidade no uso de computação em nuvem

À medida que a adoção de computação na nuvem continua a aumentar, o seu impacto ambiental naturalmente também aumenta. O consumo de energia e as emissões de carbono associadas à computação na nuvem são uma preocupação crescente para muitas organizações que pretendem atingir objetivos de sustentabilidade ambiental. Assim, há um interesse crescente em identificar e implementar boas práticas de sustentabilidade ambiental na utilização de computação na nuvem. Esta secção pretende sugerir algumas principais práticas que podem ser implementadas para promover a computação na nuvem sustentável, de forma a que as organizações possam reduzir a sua pegada ambiental enquanto aproveitam os benefícios da computação em nuvem.

4.4.1 Diminuir o desperdício de recursos

Entre as principais preocupações de sustentabilidade ambiental está o desperdício de recursos, isto é, o uso de recursos computacionais desnecessariamente que se traduz em energia desperdiçada, e portanto impacta negativamente o meio ambiente ao mesmo tempo que gera custos desnecessários para as organizações. Neste sentido, a adoção de boas práticas para reduzir o desperdício de recursos é fundamental. Nesta secção, serão abordadas algumas estratégias que as organizações podem adotar para diminuir o desperdício de recursos em serviços de computação na nuvem. Serão discutidas práticas como o agendamento de instâncias, o dimensionamento adequado de instâncias, a adoção de auto-escalamento, o uso de instâncias *spot* e a preferência por soluções *serverless*.

4.4.1.1 Agendamento de instâncias

O agendamento de instâncias é uma técnica para reduzir o consumo de energia e os custos dos recursos de computação na nuvem. Recomenda-se a avaliação das instâncias atuais da organização para concluir que instâncias podem ser executadas apenas durante as horas ativas de negócio, e em que são realmente necessárias, por exemplo, das 9h às 17h de segunda a sexta-feira, assim sendo é possível obter uma redução significativa no consumo de energia e nos custos. Isso é uma

vantagem em comparação com soluções *on-premises*, que podem não ter os controles necessários para desligar recursos de forma agendada, resultando num aumento do consumo de energia. Ao agendar corretamente as instâncias na nuvem, as organizações podem economizar nos custos de computação e ao mesmo tempo reduzir a sua pegada de carbono.

Usar as Ferramentas apropriadas

Os principais *cloud providers* oferecem soluções de agendamento de instâncias para automatizar o agendamento de recursos computacionais.

Em AWS sugere-se o *Instance Scheduler* que permite interromper e iniciar instâncias do *Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2)* e do *Amazon Relational Database Service (Amazon RDS)*, resultando em reduções de gastos operacionais e energéticos.

Relativamente ao Azure, possui a função *Start/Stop VMs* que permite iniciar e parar instâncias de máquinas virtuais de acordo com os horários definidos pela organização, para além de fornecer *insights* e notificações opcionais.

Se o *cloud provider* for o Google Cloud, também se pode criar *instance schedules*, que podem ser usados para cargas de trabalho recorrentes ou únicas, ajudando a otimizar a energia utilizada pelas VMs.

Em resumo, o agendamento de instâncias é uma boa prática que pode ser usada para atingir a sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem. Além de ajudar a reduzir o desperdício de energia e os custos de operação, as ferramentas de agendamento de instâncias oferecidas pelos *cloud providers* permitem às organizações gerirem o uso das suas instâncias de forma eficiente e responsável.

4.4.1.2 Dimensionar adequadamente as instâncias

O dimensionamento adequado das instâncias é uma prática aparentemente simples mas crucial na otimização de recursos e custos de computação na nuvem. O dimensionamento adequado implica determinar o tipo e o tamanho apropriados das instâncias para corresponder às necessidades de desempenho e capacidade das cargas de trabalho específicas, buscando o menor custo possível.

Um dos principais objetivos é identificar oportunidades para reduzir o número de instâncias ou diminuir a dimensão de instâncias existentes, sem prejudicar o desempenho ou a capacidade da carga de trabalho. Isso pode resultar numa redução de custos significativa.

É importante destacar que o dimensionamento adequado das instâncias é um processo contínuo e requer monitorização e análises constantes para manter a utilização de recursos otimizada. É uma grande diferença em relação às soluções tradicionais *on-premises*, que podem não ser capazes de implementar essas eficiências por meses ou até mesmo anos, devido a longos ciclos de atualização de hardware.

Em conclusão, o dimensionamento adequado das instâncias é um aspeto crítico da computação na nuvem que requer atenção cuidadosa para garantir um desempenho ótimo e eficiência de custos. Mantendo-se vigilante e fazendo ajustes conforme necessário, as organizações podem diminuir a

energia necessária para suportar as suas cargas de trabalho, reduzir a pegada de carbono e ajudar a alcançar os seus objetivos de sustentabilidade.

4.4.1.3 Adotar o Auto-escalamento

O auto-escalamento de infraestrutura é uma prática comum no uso de computação na nuvem, com vários benefícios para a sustentabilidade. Em vez de sobreprovisionar a infraestrutura de uma aplicação para atender a picos de carga, o auto-escalamento permite que a aplicação adquira e liberte dinamicamente máquinas virtuais à medida que a carga varia. Isto resulta numa maior taxa de utilização dos servidores e num tempo ocioso reduzido, o que resulta num menor consumo de energia e a menos emissões de carbono.

Para as organizações aplicarem auto-escalamento aos seus recursos, os *cloud providers* oferecem as suas próprias ferramentas de auto-escalamento aos seus clientes, que podem ser usadas para gerir a escalabilidade de máquinas virtuais, *containers* e outros recursos em resposta a mudanças na procura.

Usar as Ferramentas apropriadas

Os três principais *cloud providers*, Amazon Web Services, Microsoft Azure e Google Cloud oferecem as suas próprias ferramentas de auto-escalamento, que foram especificamente projetadas para trabalhar com suas respectivas nuvens.

No caso da Amazon Web Services, o serviço Amazon Auto Scaling é usado para ajustar automaticamente o número de instâncias EC2 num grupo de auto-escalabilidade de uma aplicação. Este serviço usa uma combinação de políticas definidas pelo utilizador para desencadear eventos de escalabilidade e suporta tanto escalabilidade manual como automática.

O Microsoft Azure fornece capacidades de auto-escalamento através do *Azure Autoscale*, que permite às organizações aumentar ou diminuir o número de máquinas virtuais em resposta a mudanças na procura. O *Azure Autoscale* pode ser configurado para escalar com base numa série de métricas, incluindo utilização de CPU, uso de memória e *bandwidth*, e pode ser usado com máquinas virtuais assim como outros serviços na nuvem.

O Google Cloud oferece auto-escalamento através do serviço *Autoscaler*, que permite às organizações ajustar automaticamente o número de instâncias de máquinas virtuais em resposta a mudanças na procura da aplicação. O serviço *Autoscaler* suporta uma variedade de políticas de escalabilidade, incluindo escalabilidade baseada em tempo e métricas personalizadas, e pode ser usado em combinação com outros serviços do Google Cloud, como o *Kubernetes Engine* e o *App Engine*, para fornecer uma solução abrangente de auto-escalamento.

Em suma, a capacidade de ajustar dinamicamente os recursos de computação em resposta às mudanças na procura é essencial para alcançar a sustentabilidade ambiental em computação na nuvem. Os principais *cloud providers* têm as suas próprias ferramentas de auto-escalamento, que fornecem às organizações a capacidade de gerir os seus recursos de computação de maneira escalável, eficiente e sustentável. Ao usar essas ferramentas, as organizações podem garantir que

estão a usar apenas os recursos que precisam e podem reduzir a sua pegada de carbono ao evitar o dimensionamento excessivo dos recursos de computação.

4.4.1.4 Usar Instâncias Spot

Como esforço para reduzir a quantidade de energia consumida pelos centros de dados, os *cloud providers* começaram a oferecer instâncias *spot*, que permitem às organizações ter acesso a recursos de computação a preços mais baixos, uma vez que estes recursos não estão a ser utilizados.

Muitas vezes os *cloud providers* têm capacidade ociosa nos seus recursos de computação, que estão subutilizados em determinados momentos. Em vez de investir em novos centros de dados para atender à crescente procura por recursos de computação, os *cloud providers* oferecem esta capacidade ociosa na forma de instâncias *spot* a preços mais baixos. Desta forma, os clientes podem obter acesso a recursos de computação adicionais sem precisar que o *provider* invista em novos centros de dados.

Com o uso de instâncias *spot*, os *cloud providers* podem maximizar o uso da sua capacidade de computação existente e assim ter maior eficiência energética, ajudando a reduzir as emissões de carbono associadas à computação na nuvem, uma vez que é necessária menos energia para alimentar recursos não utilizados.

Sugere-se que as organizações utilizem este tipo de provisionamento em situações em que a tolerância a interrupções no processamento é elevada.

Usar as Ferramentas apropriadas

Os principais *cloud providers*, Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure e Google Cloud, oferecem as suas próprias ferramentas para instâncias *spot*, projetadas para funcionar dentro das suas respetivas nuvens.

O AWS oferece Instâncias *Spot EC2*, que permite aos seus clientes leiloar capacidade *EC2* ociosa e assim executar as suas cargas de trabalho a um custo menor. As Instâncias *Spot EC2* são aconselháveis para o uso de cargas de trabalho flexíveis e não críticas em termos de tempo, e oferecem a capacidade de escalar rapidamente em resposta a eventuais mudanças na procura.

O Microsoft Azure fornece instâncias *spot* através de Máquinas Virtuais *Spot Azure*, que permitem aos seus clientes aproveitar a capacidade ociosa para executar as suas aplicações a um custo menor. As Máquinas Virtuais *Spot Azure* são projetadas para uso com cargas de trabalho *batch*, cargas de trabalho de *development/testing* e outras quaisquer cargas de trabalho que possam ser interrompidas sem afetar a disponibilidade geral da aplicação.

O Google Cloud também oferece instâncias *spot* através das suas Máquinas Virtuais *Preemptible*, que permitem aos seus clientes executar cargas de trabalho *batch*, de uma forma tolerante a falhas, também a um custo menor, usando capacidade ociosa. As Máquinas Virtuais *Preemptible* são projetadas para uso com cargas de trabalho que podem ser interrompidas sem afetar a disponibilidade geral da aplicação e oferecem a capacidade de escalar rapidamente em resposta a mudanças na procura.

Em conclusão, o uso de instâncias *spot* na computação em nuvem é uma solução sustentável para as organizações que procuram reduzir custos, ao mesmo tempo que mantém desempenho e fiabilidade. Ao aproveitar as ferramentas oferecidas pelos principais *cloud providers*, as organizações podem aproveitar capacidade ociosa ou disponível na nuvem e executar as suas cargas de trabalho a um custo menor, ajudando a alcançar a sustentabilidade ambiental na computação em nuvem.

4.4.1.5 Dar preferência a soluções *Serverless*

A computação *Serverless* está rapidamente a ganhar terreno na indústria de computação em nuvem como um novo paradigma para construir e executar aplicações e serviços. Esta arquitetura permite aos *developers* construir e executar aplicações e serviços sem ter que gerir a infraestrutura, o que pode reduzir significativamente a pegada de carbono e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

Em primeiro lugar, a computação *Serverless* elimina a necessidade de infraestrutura ociosa. Na computação em nuvem tradicional, os recursos são provisionados para lidar com o pico da procura, o que frequentemente resulta em desperdícios significativos e ineficiências. Com a computação *Serverless*, os recursos são alocados apenas quando a aplicação ou serviço está realmente em uso, o que reduz significativamente a quantidade de infraestrutura ociosa e as emissões de carbono associadas.

Outro benefício da computação *Serverless* é que facilita o uso eficiente de recursos. Aplicações e serviços construídos usando esta arquitetura podem escalar automaticamente em resposta à procura, garantindo de forma automática que os recursos são usados apenas quando são necessários. Isso elimina a necessidade de escalamento manual, o que pode ser demorado e propenso a erros, e leva a um uso mais eficiente de recursos.

Em conclusão, a computação *Serverless* pode ser uma boa prática a ser implementada pelas organizações no uso de computação em nuvem que pode ajudar as organizações a alcançar a sustentabilidade ambiental. Ao eliminar a necessidade de infraestrutura ociosa, facilitar o uso eficiente de recursos, permitir uma abordagem mais ágil e flexível ao desenvolvimento de software e ser capaz de se integrar a outras tecnologias, a computação *Serverless* pode contribuir para um uso mais sustentável e responsável de recursos de computação na nuvem.

Usar as Ferramentas apropriadas

Os três principais *cloud providers*, Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure e Google Cloud, oferecem uma variedade de ferramentas para a computação *serverless*. Serão expostas as principais ferramentas oferecidas por estes *providers* e de que forma podem ser usadas para apoiar esforços de sustentabilidade ambiental nas organizações.

Começando com a AWS, as principais ferramentas *Serverless* oferecidas por este *cloud provider* são *AWS Lambda*, *Amazon API Gateway* e *AWS Step Functions*. O *AWS Lambda* é um serviço de computação que permite aos utilizadores executar código sem precisar provisionar ou gerir servidores. Isso fornece às organizações a capacidade de executar aplicações de forma escalável e

eficiente em termos de custos, ao mesmo tempo que reduz a pegada de carbono. A *Amazon API Gateway* é um serviço totalmente gerido pela AWS que permite aos utilizadores criar, implementar e gerir APIs, enquanto o *AWS Step Functions* é um serviço que coordena os componentes de aplicações *Serverless* e micro-serviços usando fluxos de trabalho visuais.

Passando para o Microsoft Azure, as principais ferramentas oferecidas por este *cloud provider* são *Azure Functions*, *Azure Event Grid* e *Azure Logic Apps*. *Azure Functions* é um serviço de computação *Serverless* que permite aos utilizadores executar código acionado por eventos sem precisar de gerir infraestrutura. Isto permite que as organizações reduzam o seu impacto ambiental, provisionando recursos apenas quando forem necessários. O *Azure Event Grid* é um serviço de roteamento de eventos totalmente gerido pela Microsoft que permite o processamento baseado em eventos com o *Azure Functions*, enquanto o *Azure Logic Apps* é um serviço que ajuda a automatizar processos de negócios e integrar aplicações, dados, sistemas e serviços.

Por fim, no Google Cloud, as principais ferramentas oferecidas são *Cloud Functions*, *Cloud Run* e *Cloud Scheduler*. *Cloud Functions* é uma plataforma de computação *Serverless* que executa código em resposta a eventos. Isso permite que as organizações mantenham aplicações e serviços de forma altamente escalável e eficiente em termos de custos, reduzindo a pegada de carbono. *Cloud Run* é uma plataforma de computação totalmente gerida pela Google que permite aos utilizadores executar *containers* sem gerir a infraestrutura, enquanto que o *Cloud Scheduler* é um *scheduler* de trabalhos totalmente gerido que permite aos utilizadores agendar *shell scripts* ou comandos para serem executados numa instância gerida pelo *cloud provider*.

Em suma, estas são as principais ferramentas oferecidas pelos três principais *cloud providers* para computação *Serverless*. Cada *cloud provider* oferece serviços e recursos adicionais para suportar o desenvolvimento e lançamento de aplicações *Serverless* e as organizações podem usar essas ferramentas para apoiar seus esforços de sustentabilidade ambiental, melhorando a utilização de recursos e reduzindo a sua pegada de carbono.

4.4.2 Otimizar escolha de região das cargas de trabalho

A escolha de uma região por parte de uma organização para destino das suas cargas de trabalho pode afetar significativamente a sua pegada de carbono. Isto porque dentro de um mesmo fornecedor de serviços *cloud*, diferentes centros de dados têm performances diferentes com distintos KPIs de eficiência energética, uso de água e desperdício entre si. Para além disso, a fonte de energia dos centros de dados é diferente de região para região, pelo que certas regiões irão consumir uma maior percentagem de energia livre de carbono, relativamente a outras.

No processo de escolha de região, é primeiro necessário recolher o conjunto de regiões possíveis como destino para as cargas de trabalho. Para o efeito, primeiro há um conjunto de fatores essenciais cuja informação deve ser recolhida para o aproveitamento de um serviço na nuvem. Como se pode ver na Figura 4.1 os fatores a ser recolhidos são:

- A conformidade das regiões com base nas regulamentações locais;
- A confirmação que a região tem disponível os serviços necessários para a organização;

- O custo das cargas de trabalho, comparativamente com outras regiões;
- A latência de rede existente entre a localização dos utilizadores finais e a região do centro de dados.

ESCOLHA DE REGIÃO	CONFORMIDADE	SERVIÇOS	CUSTO	LATÊNCIA
REGIÃO A	✓	✓	€€€	12ms
REGIÃO B	✓	✗	€€	16ms
REGIÃO C	✗	✓	€€	35ms

Figura 4.1: Fatores essenciais na escolha de uma região

Após a recolha da informação, deve-se descartar as regiões que não cumprirem o requisito de conformidade, não tenham o serviço pretendido, tenha o serviço muito caro, ou latência muito elevada.

Após encurtar esta lista de regiões que são possíveis candidatas à organização, então para atingir os objetivos de sustentabilidade ambiental da organização, o fator distintivo poderá ser as medidas e performance de sustentabilidade do centro de dados da região, considerando a percentagem de energia que é renovável, o PUE de fator mais baixo, e portanto mais eficiente, WUE de fator mais baixo, o desperdício e a pegada de carbono. Aconselha-se a comunicação com qualquer que seja o *cloud provider*, de forma a serem obtidos estes valores para diferentes regiões.

Como estes dados não são fáceis de se obter rapidamente, na eminência de contacto com o *cloud provider*, recomenda-se a organização a seguir diferentes métodos na escolha de região:

- Se o *provider* for o AWS ou Microsoft Azure, aconselha-se a utilizar o mapa de eletricidade "*electricityMap*", mantido pela *Tomorrow*. Este mapa transmite um *ranking* em tempo real de todos os sítios do mundo, consoante intensidade de carbono da eletricidade consumida. Este mapa também dá indicação acerca da percentagem de energia renovável consumida em todas as áreas do mundo, a tempo real, com acesso ao histórico, sendo uma boa ferramenta para perceber as zonas do globo com regiões em que se consome energia mais limpa de carbono. Assim, sugere-se a escolha da região com menor intensidade de carbono da eletricidade consumida.
- Se o *cloud provider* for a Google, para simplificar a seleção de região, o Google Cloud Platform já tem um serviço de escolha de região, que tem em consideração a sustentabilidade ambiental. A organização deve usar o serviço *Google Cloud Region Picker* que serve para determinar as melhores regiões de nuvem que atendam aos requisitos das organizações com base na pegada de carbono, preço e latência.

4.4.3 Automatizar políticas de armazenamento de dados

Na era digital atual, a quantidade de dados gerados e armazenados tem aumentado de forma exponencial. Isto tem levado a uma necessidade cada vez maior de computação e energia para armazenar e processar estes dados. No entanto, a gestão inadequada do ciclo de vida destes dados pode resultar em grandes desperdícios de recursos, que por consequência tem um impacto negativo na sustentabilidade ambiental de uma organização.

Escolher a *tier* de armazenamento correta é crucial para melhorar a sustentabilidade ambiental. Isto deve-se ao facto de cada *cloud provider*, como Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure e Google Cloud, oferecer *tiers* de armazenamento diferentes com diferentes níveis de acessibilidade, durabilidade e custo, e cada um tem um consumo de energia e impacto ambiental diferente.

Usar as Ferramentas apropriadas

No que toca às ferramentas que as organizações se podem servir, o AWS oferece uma variedade de classes de armazenamento, como *Intelligent-Tiering*, *Standard*, *Standard-IA*, *One Zone-IA*, *Instant Retrieval*, *Flexible Retrieval* e *Deep Archive*, cada um projetado para atender a diferentes padrões de acesso a dados. Por exemplo, a *tier Intelligent-Tiering* é adequada para dados com padrões de acesso desconhecidos ou muito variáveis, e a classe *Deep Archive* é ideal para o arquivo a longo prazo mas com recuperação em horas.

Da mesma forma, o Azure oferece às organizações várias opções de armazenamento, como as camadas *hot*, *cool* e de *archive*, cada uma projetada para atender a diferentes exigências de acesso e custos. A *tier hot* é projetada para dados com acesso frequente, enquanto a *tier* de *archive* é otimizada para armazenamento de dados a longo prazo, sendo a *cool* uma *tier* intermédia.

O Google Cloud também fornece várias opções de armazenamento, incluindo *Standard*, *Durable Reduced Availability*, *Nearline* e *Coldline*, cada uma com diferentes exigências de acessibilidade e durabilidade. A classe de armazenamento *Coldline* é ideal para dados com acesso pouco frequente e necessidade de retenção a longo prazo, enquanto a classe *Standard* é projetada para dados com acesso frequente.

Escolher a *tier* de armazenamento correta para os dados de uma organização pode ter um impacto significativo na sustentabilidade ambiental na computação em nuvem. Ao selecionar a *tier* apropriada, as organizações podem minimizar o seu consumo de energia e pegada de carbono, tornando as suas iniciativas de computação em nuvem mais responsáveis e sustentáveis do ponto de vista energético e portanto ambiental.

Assim, propõe-se a gestão automatizada do ciclo de vida de dados como solução para este desafio, permitindo às organizações maximizar a eficiência no uso de recursos. Por exemplo, através da criação de políticas no uso do *S3 lifecycle* no caso do *provider* Amazon Web Services, ou o *Object Lifecycle Management* no *Google Cloud Storage* e *Lifecycle Management Policies* no *Azure Blob Storage* as organizações podem definir regras para a retenção e eliminação de dados, garantindo que somente os dados necessários são armazenados e mantidos por períodos de tempo

adequados. Isto pode levar a uma redução no consumo de energia e na emissão de gases de efeito estufa, o que é benéfico para o meio ambiente.

4.4.4 Otimizar desenvolvimento das aplicações

Nesta secção, será abordado como as organizações podem otimizar o desenvolvimento das suas aplicações para que sejam mais eficientes e sustentáveis, contribuindo para a redução do impacto ambiental. Serão discutidas práticas como a otimização do código das aplicações e o repensar da experiência do utilizador final.

4.4.4.1 Refatoração de aplicações monolíticas em micro-serviços

As aplicações monolíticas combinam todos os seus módulos num único programa, o que torna difícil alocar recursos para executar módulos específicos. Portanto, as aplicações monolíticas podem ser um desafio de serem executadas e principalmente escaladas de forma eficiente e, portanto, podem ter uma pegada de carbono maior em comparação com uma implementação baseada em micro-serviços. Os micro-serviços, por outro lado, separam os módulos da aplicação em programas próprios mais leves. Os micro-serviços podem ser escalados independentemente uns dos outros e usam formas diferentes de recursos.

A escalabilidade dos micro-serviços resulta num uso mais eficiente dos recursos da nuvem por meio de uma escalabilidade granular e de uma redução de sobredimensionamento, o que resulta em menores custos e emissões. A escalabilidade granular permite que as partes do sistema que têm uma maior carga de trabalho possam ser dimensionadas independentemente das outras partes, reduzindo o desperdício de recursos em partes do sistema que não precisam de tantos recursos. Além disso, a escalabilidade granular também permite que os recursos sejam alocados de forma mais eficiente para atender às necessidades do serviço.

A refatoração de aplicações monolíticas em micro-serviços, ou seja a alteração do código das grandes aplicações para funcionarem à base de micro-serviços independentes da aplicação é uma boa prática de sustentabilidade no uso de computação na nuvem. Esta prática recomenda-se às organizações que tenham aplicações monolíticas nestas condições, pois permite uma utilização mais eficiente dos recursos da nuvem, resultando em menores custos e emissões. Além disso, a separação dos recursos de armazenamento e computação também pode trazer benefícios significativos para cargas de trabalho de processamento e análise de dados. É importante que as empresas adotem estas práticas para minimizar o impacto ambiental da computação na nuvem.

4.4.4.2 Otimizar código das aplicações

A otimização de código é um fator que pode ser explorado de forma a promover a sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem. Ao otimizar o código de aplicações, reduz-se a quantidade de recursos necessários para o processamento de dados, reduzindo o consumo de energia e o impacto de carbono das operações na nuvem.

Para este fim, cada um dos *cloud providers* têm ferramentas para ajudar os *developers* das organizações a otimizar o código.

Usar as Ferramentas apropriadas

A AWS possui o *Amazon CodeGuru* que é uma ferramenta para *developers* que fornece recomendações para melhorar a qualidade do código, identificar códigos ineficientes e reduzir custos. Inclui dois recursos principais: *CodeGuru Reviewer* e *CodeGuru Profiler*. O *CodeGuru Reviewer* usa *machine learning* para identificar problemas críticos e vulnerabilidades de segurança no código, fornecendo recomendações de melhoria. O *CodeGuru Profiler* ajuda os *developers* a compreender o comportamento do tempo de execução das suas aplicações e a identificar ineficiências para melhorar o desempenho e reduzir custos de computação. O *CodeGuru* pode ser integrado ao fluxo de trabalho de desenvolvimento de software e monitoriza continuamente o desempenho da aplicação.

A Microsoft Azure oferece a ferramenta *Azure Code Analysis Tool* para ajudar na identificação e resolução de problemas de desempenho na programação de aplicações no Microsoft Azure. A ferramenta baseia-se em regras específicas para identificar problemas e fornecer sugestões de correções, aparecendo em forma de avisos ou erros de compilação com correções de código. Isso contribui para garantir a escalabilidade e o desempenho de aplicações no ambiente da nuvem, reduzindo o consumo de energia e a pegada de carbono. Além disso, a Microsoft fornece exemplos reais de casos de estudo para a organização se basear onde a ferramenta identificou erros e sugeriu práticas mais sustentáveis.

O *Cloud Profiler* é uma ferramenta que recolhe, de forma contínua, informações sobre o uso de CPU e a alocação de memória das aplicações em produção. Ele associa essas informações ao código da aplicação, ajudando os *developers* a identificar as partes do código que consomem mais recursos e a entender o desempenho do código.

Em resumo, as organizações devem tentar otimizar o código das suas plataformas, pois é uma etapa vital para promover a sustentabilidade da computação em nuvem, reduzindo o consumo de energia e a pegada de carbono das operações em nuvem, ao mesmo tempo em que melhora o desempenho dos sistemas de computação em nuvem.

4.4.4.3 Repensar a experiência do utilizador

A experiência do utilizador nos serviços de nuvem *front-end* pode ter um impacto direto na sustentabilidade ambiental. A forma como os utilizadores finais interagem com os serviços e aplicações da nuvem pode determinar a quantidade de recursos computacionais necessários para atender às suas necessidades e expectativas. Se a experiência do utilizador for projetada de forma insustentável, pode levar a um aumento desproporcionado no consumo de energia, uso de recursos e emissões de carbono.

Ao mudar a experiência do utilizador, as organizações podem minimizar o uso de recursos computacionais, reduzir a pegada de carbono e aumentar a sustentabilidade geral das suas operações de computação em nuvem. Por exemplo, ao projetar interfaces mais eficientes e *user-friendly*

ao utilizador, as organizações podem reduzir o tempo e os recursos computacionais necessários para realizar determinadas tarefas.

Além disso, também pode ser uma boa prática fornecer aos utilizadores mais informações acerca do impacto ambiental de suas ações, assim as organizações podem encorajar os clientes a tomar escolhas mais sustentáveis e tornarem-se mais conscientes do meio ambiente.

Em conclusão, mudar a experiência do utilizador pode ser uma boa prática para a sustentabilidade ambiental na utilização de computação na nuvem, no sentido de reduzir o uso de recursos computacionais e alertar os consumidores finais para o impacto ambiental das suas ações com o objetivo de reduzir a pegada de carbono e promover comportamentos mais sustentáveis entre os utilizadores.

4.4.5 Monitorização

A monitorização refere-se à observação e medição contínuas dos recursos de computação na nuvem, incluindo servidores, armazenamento e componentes de rede. Esta prática permite às organizações recolher dados e *insights* sobre a utilização e desempenho desses recursos, permitindo-lhes otimizar o uso de recursos e reduzir o consumo de energia. A otimização do uso de recursos ajuda as organizações a reduzir a sua pegada de carbono e minimizar o impacto ambiental das suas operações de computação em nuvem.

Por exemplo, a monitorização pode ajudar as organizações a identificar e eliminar recursos subutilizados, como armazenamento subutilizado. Esta otimização da utilização de recursos pode ajudar as organizações a reduzir o seu consumo de energia e diminuir a sua pegada de carbono, e a monitorização é um facilitador para identificar esses casos. Além disso, a monitorização pode ajudar as organizações a identificar oportunidades para configurações e atualizações energéticas, como o uso de servidores mais eficientes de energia ou a implementação de tecnologias de gestão de energia.

É relevante o papel da monitorização, pois permite às organizações acompanharem o seu consumo de energia ao longo do tempo e identificar tendências e padrões. Estes dados podem ser usados para desenvolver e implementar estratégias para reduzir o consumo de energia e minimizar o impacto ambiental das operações de computação na nuvem. Por exemplo, as organizações podem usar esses dados para avaliar a eficácia das iniciativas de poupança de energia e ajustar as suas estratégias conforme necessário para maximizar a eficiência energética e minimizar o impacto ambiental.

Assim, considera-se que a monitorização é uma prática crítica para organizações que pretendem aumentar a sustentabilidade ambiental em computação na nuvem, pois permite às organizações otimizar o uso de recursos, identificar oportunidades para configurações e *upgrades* eficientes em termos de energia e acompanhar o seu consumo de energia ao longo do tempo. Organizações que têm como prioridade a monitorização como parte de suas práticas sustentáveis em computação na nuvem podem reduzir a sua pegada de carbono e contribuir para um futuro mais sustentável.

Usar as Ferramentas apropriadas

Para o efeito de monitorização, várias ferramentas foram desenvolvidas pelos principais *cloud providers*, nomeadamente Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure e Google Cloud. Essas ferramentas ajudam as organizações a monitorizar e otimizar a sustentabilidade ambiental das suas operações na nuvem.

No caso do Amazon Web Services (AWS), sugere-se duas principais ferramentas para apoiar a monitorização de sustentabilidade ambiental na computação em nuvem: *AWS Trusted Advisor* e *AWS Carbon Footprint*.

O *AWS Trusted Advisor* é uma ferramenta baseada em nuvem que fornece orientação e melhores práticas para otimizar a infraestrutura AWS de uma organização. Analisa o ambiente AWS da organização e fornece recomendações em várias categorias, incluindo otimização de custos, segurança, tolerância a falhas e melhoria de desempenho. A ferramenta está disponível para todos os clientes da AWS e fornece *insights* em tempo real sobre a infraestrutura de uma organização.

Uma das características do *AWS Trusted Advisor* mais relevantes para o tema são as suas recomendações de otimização de custos. Ora estas recomendações são provocadas pelo uso de más práticas do uso de computação, que para além de aumentar os custos, normalmente têm também um impacto negativo no desperdício energético. Assim, ao dar recomendações para dimensionar corretamente as instâncias EC2, como por exemplo, esta ferramenta de monitorização ajuda a organização a identificar mais rapidamente as ineficiências energéticas do sistema de nuvem, e para além disso, se a organização seguir a recomendação, esta irá favorecer a performance energética.

Esta ferramenta também fornece recomendações para melhorar a tolerância a falhas e o desempenho. As recomendações de tolerância a falhas podem incluir sugestões para implementar estratégias de redundância e backup, enquanto as recomendações de desempenho podem incluir sugestões para melhorar o desempenho de bases de dados ou otimizar o código de uma aplicação.

Assim, o *AWS Trusted Advisor* pode ajudar as organizações a alcançar a sustentabilidade ambiental ao fornecer recomendações de otimização de custos e melhoria de desempenho, que podem resultar em redução do consumo de recursos de energia e, consequentemente de emissões de carbono.

A Ferramenta *AWS Carbon Footprint* é um recurso poderoso que permite que as organizações possam medir, acompanhar e planear as suas emissões de carbono resultantes do uso dos Serviços da AWS. A ferramenta utiliza ferramentas de visualização de dados fáceis de entender que se alinham com os padrões do Protocolo de Gases de Efeito Estufa (GHG) para fornecer relatórios precisos e abrangentes sobre emissões.

Além de medir as emissões de carbono atuais, a Ferramenta *AWS Carbon Footprint* também permite que organizações acompanhem o seu progresso ao longo do tempo. Através da análise de mudanças nas emissões resultantes da migração de cargas de trabalho para a AWS, reestruturação de aplicações e desativação de recursos não utilizados, as organizações podem identificar oportunidades para otimizar a sua infraestrutura de nuvem e reduzir as emissões de carbono.

A Ferramenta *AWS Carbon Footprint* também ajuda as organizações a planear o futuro, através de uma previsão de como as suas emissões mudarão à medida que a Amazon avança em direção

a operar com 100% de energia renovável. Com essas informações, as organizações podem tomar decisões informadas sobre sua infraestrutura de nuvem, aquisição de energia e estratégias de sustentabilidade, e estabelecer metas alcançáveis de redução de emissões.

Assim, considera-se o *AWS Carbon Footprint* boa ferramenta que fornece às organizações as capacidades necessárias para medir, relatar, acompanhar e planejar com precisão as suas emissões de carbono resultantes do seu uso da AWS. Ao aproveitar essa ferramenta, as organizações podem tomar decisões informadas para otimizar sua infraestrutura de nuvem, reduzir a sua pegada de carbono e contribuir para um futuro mais sustentável.

O *Microsoft Advisor* é um serviço *cloud* que dá orientação às organizações para otimizar as suas cargas de trabalho na nuvem em termos de custo, segurança e desempenho. Ao analisar os padrões de uso em nuvem de um cliente e recomendar mudanças para melhorar a eficiência, o *Microsoft Advisor* pode ajudar a reduzir o consumo de energia e as emissões de carbono associadas à computação em nuvem. Por exemplo, o serviço pode recomendar desligar máquinas virtuais quando não estiverem em uso ou mover cargas de trabalho para servidores localizados em regiões com origem de eletricidade de menor intensidade de carbono.

O *Microsoft Sustainability Calculator* é uma ferramenta projetada para ajudar as empresas a medir e compreender o impacto de carbono de sua infraestrutura em nuvem. Ao analisar dados sobre o uso de energia, eficiência de hardware e carga de trabalho em nuvem, o calculador pode fornecer às empresas uma análise detalhada da emissões de carbono associadas às práticas de computação na nuvem da organização. Além disso, a ferramenta pode fornecer *insights* sobre as emissões de carbono associadas a cargas de trabalho específicas, permitindo que as empresas identifiquem áreas para melhoria e desenvolvam estratégias para reduzir seu impacto ambiental. Posto isto, o *Microsoft Sustainability Calculator* é particularmente relevante na promoção de práticas mais sustentáveis de computação em nuvem.

O *Google Cloud Monitoring* é uma ferramenta que fornece uma visão sobre o desempenho e a saúde de aplicações que são executadas na plataforma do Google Cloud. Oferece uma ampla gama de recursos de monitorização, incluindo *dashboards*, alertas, análise de *logs* e *tracing*, que permitem aos utilizadores identificar e arranjar soluções aos problemas de maneira rápida e eficiente.

Uma das principais características do *Google Cloud Monitoring* é a sua capacidade de monitorizar uma ampla variedade de serviços e aplicações como *Compute Engine*, *Kubernetes* e *App Engine*. Outra característica importante do *Google Cloud Monitoring* é a sua escalabilidade. Consegue lidar com grandes quantidades de dados e fornecer *insights* em tempo real sobre a saúde das aplicações, permitindo que as organizações identifiquem e resolvam problemas antes que se tornem críticos. Ao fornecer *insights* em tempo real sobre o desempenho e a saúde das aplicações, permite que as organizações otimizem o uso dos seus recursos e assim reduzam o desperdício. Isto pode resultar em reduções significativas de energia, pois são necessários menos recursos para executar aplicações de maneira eficiente. Além disso, o *Google Cloud Monitoring* pode ajudar a reduzir as emissões de carbono, incentivando que as organizações migrem para recursos de computação mais eficientes em termos de energia. Por exemplo, pode identificar aplicações executadas

em máquinas virtuais ineficientes e recomendar a mudança para máquinas mais eficientes, o que pode resultar em reduções significativas no consumo de energia e nas emissões de carbono.

Assim, o *Google Cloud Monitoring* é uma ferramenta que oferece uma ampla gama de recursos de monitorização e pode contribuir para a sustentabilidade ambiental na computação na nuvem. Ao permitir que as organizações otimizem o uso de recursos e migrem para recursos de computação mais eficientes em termos de energia, ajuda a reduzir o consumo de energia e as emissões de carbono, tornando a computação na nuvem mais sustentável.

Google Cloud Carbon Footprint é uma ferramenta desenvolvida pela Google para medir o impacto ambiental dos seus serviços tendo em conta as emissões de gases de efeito estufa.

Uma das principais características do *Google Cloud Carbon Footprint* é a capacidade de medir as emissões de carbono geradas pelos serviços em tempo real. A ferramenta usa dados precisos e detalhados para determinar a quantidade de carbono emitida durante o uso dos serviços na nuvem, incluindo a infraestrutura subjacente e o consumo de energia.

Além disso, o *Google Cloud Carbon Footprint* pode ajudar a identificar oportunidades de redução de emissões. Por exemplo, pode identificar áreas onde a eficiência energética pode ser melhorada. A ferramenta também pode fornecer recomendações sobre como reduzir o uso de recursos de computação na nuvem e otimizar o desempenho do serviço para reduzir a pegada de carbono.

A implementação do *Google Cloud Carbon Footprint* pode ajudar a alcançar a sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem, pois permite que as empresas quantifiquem e giram as suas emissões de carbono. Com isso, podem tomar medidas para reduzir as suas emissões de carbono e, assim, tornar os seus serviços mais sustentáveis e responsáveis ambientalmente.

Capítulo 5

Conclusões

O objetivo desta tese foi o desenvolvimento de um manual de boas práticas de sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem. Assim, foi criado um manual para as organizações adotarem e assim, passarem a utilizar a computação na nuvem de forma ambientalmente responsável. Para alcançar este objetivo, a pesquisa envolveu uma revisão abrangente da literatura existente.

Os resultados da pesquisa mostraram que a computação na nuvem pode ter um impacto significativo no ambiente, tanto positiva como negativamente, dependendo da forma como é implementada e utilizada. As principais considerações de sustentabilidade ambiental através de computação na nuvem incluem o consumo de energia, emissões de carbono e utilização de água.

Para abordar essas considerações de sustentabilidade ambiental, foi elaborado um manual que define um conjunto de boas práticas para as organizações seguirem. O manual fornece orientações de alto nível sobre como implementar essas boas práticas. Além disso, o manual inclui um conjunto de ferramentas e técnicas fornecidas pelos principais *cloud providers* que as organizações podem e devem utilizar para implementar as boas práticas descritas no manual.

Os resultados da pesquisa demonstram que, ao seguir as boas práticas descritas no manual, as organizações podem reduzir o impacto ambiental das suas operações de computação na nuvem e contribuir para um futuro mais sustentável. O manual é uma fonte valiosa para organizações de todos os tamanhos e indústrias e espera-se que incentive as organizações a adotarem computação na nuvem de forma ambientalmente responsável.

A criação de um manual de boas práticas de sustentabilidade ambiental na utilização de computação na nuvem representa um passo importante na promoção do uso responsável da tecnologia de nuvem. No entanto, ainda há muito trabalho a ser feito para garantir que as organizações adotem essas boas práticas e façam a diferença na redução do impacto ambiental em computação na nuvem.

Um passo imediato é disseminar amplamente o manual e torná-lo acessível para organizações de todos os tamanhos e indústrias. Isso pode ser alcançado por meio de vários canais, incluindo a publicação do manual online e através de serviços de consultoria de gestão de sustentabilidade ambiental neste âmbito específico.

Outro passo importante é continuar a haver pesquisas sobre sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem. Para além da limitação de existirem muitos serviços de nuvem não explorados neste manual de boas práticas e portanto existir a necessidade de o complementar, à medida que a tecnologia e as práticas evoluem, será necessário atualizar o manual e garantir que ele permaneça relevante e eficaz na promoção de um uso responsável da tecnologia.

Além da disseminação e da pesquisa, há uma necessidade de colaboração e coordenação entre organizações, associações de indústria e instituições governamentais para promover a aplicação de boas práticas de sustentabilidade ambiental no uso de computação na nuvem nas organizações. Isso poderia incluir o desenvolvimento de políticas e regulamentações que incentivem ou exijam que as organizações adotem boas práticas de sustentabilidade.

Por fim, é importante medir e monitorizar o impacto do manual no meio ambiente e nas práticas de computação em nuvem. Isso fornecerá dados valiosos e *insights* sobre a eficácia do manual, o que pode ser uma ajuda para futuros esforços que visem otimizar o manual de boas práticas.

Em conclusão, a criação do manual de boas práticas é um primeiro passo importante, mas é apenas o começo de um esforço maior para promover o uso responsável da tecnologia de nuvem. Pesquisas contínuas, colaboração, disseminação e monitorização serão essenciais para garantir que o manual tenha o impacto desejado e contribua para um futuro mais sustentável.

Bibliografia

- Acar, H. (2016). The impact of source code in software on power consumption. *International Journal of Electronic Business Management*, 14:42–52.
- Agarwal, A., Sun, J., Noghabi, S., Iyengar, S., Badam, A., Chandra, R., Seshan, S., and Kalyanaraman, S. (2021). Redesigning data centers for renewable energy. *Proceedings of the Twentieth ACM Workshop on Hot Topics in Networks*.
- Al-Dhuraibi, Y., Paraiso, F., Djarallah, N., and Merle, P. (2018). Elasticity in cloud computing: State of the art and research challenges. *IEEE Transactions on Services Computing*, 11(2):430–447.
- Alibaba (2021). Letter from our chairman and ceo 4 tackling climate challenges for sustainable development 6 how alibaba will achieve carbon neutrality 14. https://sustainability.alibabagroup.com/download/Alibaba%20Group%20Carbon%20Neutrality%20Action%20Report_20211217_ENG_Final_single%20page.pdf. Accessed: 2022/12/23.
- Amazon (2022a). Amazon sustainability. <https://sustainability.aboutamazon.com/>. Accessed: 2022-11-29.
- Amazon (2022b). What is cloud computing? - amazon web services. <https://aws.amazon.com/what-is-cloud-computing/>. Accessed: 2022/11/15.
- Angel Borrega, M., Haynes, T., Mingay, S., and Stanish, A. (2022). Gartner. <https://www.gartner.com/document/4015801?ref=solrAll&refval=353141877>. Accessed: 2022-12-14.
- AWS (2022). Amazon documentation. <https://docs.aws.amazon.com/>. Accessed: 2022-12-28.
- Azure, M. (2022). Azure sustainability. <https://azure.microsoft.com/en-us/explore/global-infrastructure/sustainability/#carbon-benefits>. Accessed: 2022-12-26.
- Azure, M. (2023). Azure documentation. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/?product=all>. Accessed: 2023-01-14.
- Banet, C., Pollitt, M., Covatariu, A., and Duma, D. (2021). Greening ict in europe. https://cerre.eu/wp-content/uploads/2021/10/211013_CERRE_Report_Data-Centres-Greening-ICT_FINAL.pdf. Accessed: 2022-11-27.

- Brocklehurst, F. (2022). International review of energy efficiency in data centres for iea ebc building energy codes working group. https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_WG_BECS_Data_Centers_March_2022.pdf. Accessed: 2022-11-30.
- Chen, J. (2020). Azure fundamental: Iaas, paas, saas. <https://medium.com/chenjd-xyz/azure-fundamental-iaas-paas-saas-973e0c406de7>. Accessed: 2022-11-26.
- Cook, G., Lee, J., Tsai, T., Kong, A., Deans, J., Johnson, B., and Jardim, E. (2017). Clicking clean: Who is winning the race to build a green internet? https://www.greenpeace.de/publikationen/20170110_greenpeace_clicking_clean.pdf. Accessed: 2022-12-10.
- Council, G. E. (2019). Purchasers guide for sustainability and cloud-service procurements. https://globalelectronicscouncil.org/wp-content/uploads/GEC-Sustainable-Cloud-Services_Purchasers-Guide_FINAL-March-2021.pdf. Accessed: 2022-11-23.
- Dillon, T., Wu, C., and Chang, E. (2010). Cloud computing: Issues and challenges. In *2010 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pages 27–33.
- Dougherty, B., White, J., and Schmidt, D. C. (2012). Model-driven auto-scaling of green cloud computing infrastructure. *Future Generation Computer Systems*, 28:371–378.
- Gomes, D. M., Endo, P. T., Gonçalves, G., Rosendo, D., Santos, G. L., Kelner, J., Sadok, D., and Mahloo, M. (2017). Evaluating the cooling subsystem availability on a cloud data center. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8024615>. Accessed: 2022-11-19.
- Google (2022a). Google cloud. <https://cloud.google.com>. Accessed: 2022-12-27.
- Google (2022b). Google cloud environment | go green. <https://cloud.google.com/sustainability>. Accessed: 2022/12/29.
- Google (2022c). Reduce your google cloud carbon footprint | cloud architecture center. <https://cloud.google.com/architecture/reduce-carbon-footprint>. Accessed: 2022/01/08.
- Guazzone, M., Anglano, C., and Canonico, M. (2012). Exploiting vm migration for the automated power and performance management of green cloud computing systems. pages 81–92.
- Hidalgo, M. (2022). Energy and water consumption in data centers: sustainability risks. https://www.ieee.es/en/Galerias/fichero/docs_analisis/2022/DIEEEA69_2022_MARHID_Datos_ENG.pdf. Accessed: 2022-12-19.
- Hong, J., Dreibholz, T., Schenkel, J., and Hu, J. (2019). *An Overview of Multi-cloud Computing*, pages 1055–1068.
- Islam, M. A., Ren, S., Quan, G., Shakir, M. Z., and Vasilakos, A. V. (2017). Water-constrained geographic load balancing in data centers. *IEEE Transactions on Cloud Computing*, 5:208–220.
- Jing, S.-Y., Ali, S., She, K., and Zhong, Y. (2011). State-of-the-art research study for green cloud computing. *The Journal of Supercomputing*, 65:445–468.

- Mell, P. M. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. NIST Special Publications. National Institute of Standards and Technology (NIST).
- Mytton, D. (2021). Data centre water consumption. *npj Clean Water*, 4.
- Nations, U. (2022). Sustainability. <https://www.un.org/en/academic-impact/sustainability#:~:text=In%201987%2C%20the%20United%20Nations>. Accessed: 2022-12-30.
- Oracle (2022). Sustainability at oracle. <https://www.oracle.com/sustainability/>. Accessed: 2022/12/29.
- OVHcloud (2022). Managing our environmental impacts | ovhcloud. <https://corporate.ovhcloud.com/en/sustainability/environment/>. Accessed: 2022/01/18.
- Pearl, T. (2022). Five data center predictions for 2023. <https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/five-data-center-predictions-for-2023>. Accessed: 2022-12-04.
- Peoples, C., Parr, G., McClean, S., Morrow, P., and Scotney, B. (2013). Energy aware scheduling across ‘green’ cloud data centres. In *2013 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2013)*, pages 876–879.
- Pitalier, Q. (2017). Cloud services environmental impact evaluation: toward a better knowledge of the benefits and consequences of our usage of the cloud. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/33694/master_Pitalier_Quentin_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Accessed: 2022-12-18.
- Radu (Genete), L.-D. (2017). Green cloud computing: A literature survey. *Symmetry*, 9:295.
- Roach, J. (2022). Microsoft finds underwater datacenters are reliable, practical and use energy sustainably. <https://news.microsoft.com/source/features/sustainability/project-natick-underwater-datacenter/>. Accessed: 2022-11-22.
- Schroder, T. and Oram, J. (2021). The sustainability challenge by dcd magazine - issuu. <https://issuu.com/dcdmagazine/docs/dcd-se-ebook>. Accessed: 2022-11-11.
- Srikantaiah, S., Kansal, A., and Zhao, F. (2022). Energy aware consolidation for cloud computing. http://www.fengzhao.com/pubs/srikantaiah_hotpower08.pdf. Accessed: 2022-12-01.
- Turek, T., Dziembek, D., and Hernes, M. (2021). The use of it solutions offered in the public cloud to reduce the city’s carbon footprint. *Energies*, 14(19). Accessed: 2022-12-07.