

Green IT: Sustainability as a Competitive Factor in the IT Market

Luís Fernando Almeida
Universidade Federal de Viçosa
Matrícula: 8102
Email: luis.almeida1@ufv.br

Victor Hugo Lara Souza
Universidade Federal de Viçosa
Matrícula: 8107
Email: victor.h.souza@ufv.br

Pedro Augusto Simões da Cruz
Universidade Federal de Viçosa
Matrícula: 8116
Email: pedro.a.cruz@ufv.br

Felipe Kauan dos Reis
Universidade Federal de Viçosa
Matrícula: 8150
Email: felipe.k.reis@ufv.br

Liziane Santos Soares
Universidade Federal de Viçosa
Orientadora
Email: liziane.soares@ufv.br

Abstract—*The growing demand for sustainability has led the Information Technology (IT) sector to adopt Green IT practices, which aim to minimize the environmental impact caused by the use of technological resources. This article explores the concept of Green IT and its importance as a competitive factor in the IT market, where energy efficiency and sustainable resource management are becoming strategic advantages. Based on a literature review, we will analyze how the adoption of sustainable practices can impact the economic performance of companies, generating not only operational savings but also enhancing corporate visibility and image. This article aims to present the relevance of the Green IT concept in the current IT context and highlight how the integration of sustainability into IT strategies can be a catalyst for innovation and a crucial competitive advantage in today's landscape. Additionally, gaps in the literature and possible future directions for the field will be discussed.*

Index Terms—Sustainability, Green IT, Electronic Waste, Sustainable Software Development, Green Computing.

I. INTRODUÇÃO

A indústria de TI enfrenta agora um novo desafio: equilibrar seu crescimento acelerado com práticas sustentáveis. Nas últimas décadas, a crescente preocupação com a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental tem impactado vários setores, incluindo o setor de Tecnologia da Informação (TI). O termo *Green IT*, ou TI Verde, surgiu em 2005 como uma extensão das práticas sustentáveis aplicadas ao setor de TI, sendo um conceito relativamente novo em comparação à sustentabilidade, a qual foi amplamente difundida pela ONU desde 1985 [1].

Inicialmente, o foco da indústria de TI estava predominantemente no desempenho e na inovação tecnológica. No entanto, com a rápida obsolescência dos equipamentos, questões ambientais começaram a surgir. Entre 1997 e 2004, por exemplo, nos EUA, 315 milhões de computadores se tornaram inutilizáveis devido à obsolescência acelerada do *hardware*, gerando enormes quantidades de lixo eletrônico [2]. A destinação inadequada desses resíduos levanta preocupações sérias, pois componentes eletrônicos podem liberar substâncias tóxicas, prejudicando tanto o meio ambiente quanto a saúde pública [3].

Esses problemas não se limitam ao lixo eletrônico. Na França, a parcela do consumo de eletricidade de TI é estimada em 13,5% da quantidade total de consumo [4], apesar das melhorias na eficiência energética dos equipamentos. De acordo com o *The Shift Project* [5], as tecnologias digitais agora emitem 4% das emissões de gases de efeito estufa (GEE), e seu consumo de energia está aumentando 9% ao ano. Se o desenvolvimento econômico seguir o ritmo atual, essa pegada¹ pode triplicar nos próximos 20 anos, sendo os *Data Centers* um dos principais responsáveis.

A medida que os desafios ambientais associados ao consumo de energia e à pegada de carbono das tecnologias digitais continuam a crescer, o setor de TI tem adotado algumas estratégias para mitigar esses impactos. Uma das abordagens mais proeminentes é a substituição de tecnologias tradicionais por soluções digitais e virtuais, que prometem uma maior eficiência e menor impacto ambiental [6]. O armazenamento de dados, que antes exigia grandes instalações físicas, foi amplamente virtualizado, assim como o consumo de mídia e a realização de transações financeiras, que migraram do formato físico para o digital, reduzindo a necessidade de espaço físico, o consumo de energia, a produção e o descarte de materiais, além de promover uma economia mais ágil, menos dependente de processos físicos tradicionais, e um acesso mais rápido e conveniente aos usuários [7].

No entanto, embora a substituição de tecnologias tradicionais por soluções digitais, como a virtualização de mídia e as transações online, possa reduzir o consumo de recursos, essas mudanças também apresentam novos desafios. O impacto do *e-commerce*² e do *e-work*³ no planejamento urbano e no transporte, por exemplo, ilustra a complexidade que surge com a adoção dessas inovações digitais. A expansão do *e-commerce* aumentou significativamente a demanda por centros de distribuição, resultando em um maior número de veículos

¹A pegada de carbono é a quantidade total de gases de efeito estufa emitidos por atividades humanas.

²*e-commerce*: comércio online.

³*e-work*: trabalho remoto.

de entrega nas cidades, o que pode agravar o congestionamento e as emissões de poluentes [8]. Da mesma forma, o crescimento do *e-work*, embora ofereça flexibilidade e reduza a necessidade de deslocamento diário, pode, paradoxalmente, aumentar a dependência do transporte individual. Isso ocorre porque pessoas que trabalham remotamente frequentemente escolhem viver em áreas residenciais menos densas e mais afastadas dos centros urbanos [9], onde o transporte público é menos presente, levando a uma maior utilização de veículos pessoais e, conseqüentemente, a um aumento no consumo de energia e nas emissões relacionadas ao transporte [10].

O conceito de TI Verde, conforme definido por Murugesan [11], abrange o projeto, a fabricação, o uso e o descarte de periféricos e equipamentos de TI, com o objetivo de minimizar ou eliminar seu impacto ambiental. Isso envolve a implementação de estratégias sustentáveis em todas as etapas do ciclo de vida dos produtos de TI, desde a escolha de materiais mais ecológicos na fabricação até a redução do consumo de energia durante o uso, além do desenvolvimento de métodos eficazes para o descarte ou reciclagem de equipamentos obsoletos. Por exemplo, a adoção de tecnologias de virtualização pode reduzir significativamente a quantidade de *hardware* necessário, diminuindo tanto o consumo de energia quanto a produção de resíduos eletrônicos. Além disso, práticas como o uso de fontes de energia renovável para alimentar *Data Centers* e a otimização de processos de refrigeração para reduzir o consumo energético são parte essencial da abordagem da TI Verde. A gestão de carbono também é central nesse contexto, com iniciativas voltadas para a medição, monitoramento e redução das emissões de gases de efeito estufa associadas às operações de TI [12].

Dado o contexto atual, a sustentabilidade deve ser vista como uma estratégia central para a sobrevivência e o sucesso das organizações. O *Green IT* não é apenas uma tendência, mas uma necessidade para que as empresas de TI se mantenham competitivas e alinhadas com as expectativas sociais e regulatórias [13]. A adoção dessas práticas permite não só a redução dos impactos ambientais, mas também a criação de valor para os *stakeholders*, posicionando as organizações de forma proativa diante das demandas contemporâneas.

O objetivo deste artigo é explorar como a sustentabilidade, por meio da adoção de práticas de *Green IT*, pode ser um fator de competitividade no mercado de TI. Buscaremos analisar a definição e evolução do conceito de *Green IT*, sua importância no contexto atual e como sua implementação pode beneficiar as organizações em termos de eficiência energética, redução de custos e melhoria da imagem corporativa.

A estrutura do artigo está organizada da seguinte maneira: na seção II, analisamos as práticas atuais de *Green IT*, seus impactos e o diferencial que essas práticas estão trazendo para as empresas no mercado de TI. Na seção III, abordamos trabalhos relacionados no contexto de *Green IT*, obtidos por meio de uma revisão bibliográfica na área. Na seção IV, apresentamos considerações finais sobre o cenário atual e as possibilidades para o futuro do *Green IT* como fator competitivo para as empresas.

II. ESTADO DA ARTE EM *Green IT*

Nos últimos anos, a TI Verde, ou *Green IT*, tem se consolidado como uma abordagem crucial para alinhar o crescimento tecnológico às demandas de sustentabilidade. Este conceito vai além de simples práticas ecológicas, englobando uma série de estratégias que visam reduzir o impacto ambiental das operações de TI, ao mesmo tempo que melhoram a eficiência e a competitividade das organizações.

A. Práticas de *Green IT*

As práticas de *Green IT* abrangem uma ampla gama de iniciativas que se estendem desde o design e fabricação de equipamentos até o seu uso e descarte final. Entre as principais práticas, destacam-se:

- **Uso Eficiente de Energia:** A eficiência energética é um dos pilares da TI Verde. Isso inclui o desenvolvimento de *hardware* e *software* que consomem menos energia, bem como a implementação de políticas de gerenciamento de energia em *Data Centers* e outros ambientes de TI. Tecnologias como a virtualização permitem que múltiplos sistemas operacionais rodem em uma única máquina física, reduzindo a necessidade de *hardware* adicional e, conseqüentemente, o consumo de energia.

Podemos citar o exemplo da companhia CEMIG⁴, uma das maiores geradoras e distribuidoras de energia do país, que, somente no ano de 2006, instalou 1280 placas de energia solar na zona rural de Minas Gerais, levando energia para os municípios mais distantes com custos mínimos. Além disso, a área de TI da empresa substituiu toda iluminação de mercúrio pela lâmpada de sódio, a qual apresenta um consumo mais eficiente. Com essa troca, contabiliza-se uma economia de 18 mil MW/h em um ano [14].

O Banco Real⁵ também mediu esforços para montar uma política consistente de TI Verde: a empresa criou um projeto para substituir seus computadores. Com isso, conseguiu economizar 62% do consumo de energia elétrica e 75% do consumo com o ar condicionado [15].

- **Redução de Resíduos Eletrônicos:** O gerenciamento de resíduos eletrônicos é um desafio crescente à medida que a obsolescência dos equipamentos se acelera. Práticas de TI Verde incluem o desenvolvimento de programas de reciclagem, o prolongamento da vida útil dos equipamentos através de manutenção e reparos, e a adoção de tecnologias mais duráveis e modulares, que permitem atualizações sem a necessidade de substituições completas. No âmbito da reciclagem, diversos materiais que compõem o *hardware* de dispositivos eletrônicos podem ser reaproveitados. Componentes como metais preciosos, incluindo ouro, prata e cobre, que são amplamente utilizados em placas de circuitos, cabos e conectores, podem ser extraídos e reutilizados na fabricação

⁴CEMIG: Companhia Energética de Minas Gerais.

⁵Banco Real: Instituição bancária privada e brasileira, foi posteriormente vendida para o Grupo Santander.

de novos equipamentos, reduzindo a necessidade de mineração e, consequentemente, o impacto ambiental associado à extração de recursos naturais. Além disso, materiais plásticos, que compõem carcaças e outras partes externas dos dispositivos, também podem ser reciclados e transformados em novos produtos, contribuindo para a diminuição do volume de resíduos eletrônicos descartados em aterros sanitários [16].

A tabela da Figura 1 ilustra os principais materiais que podem ser encontrados em componentes eletrônicos, bem como seu percentual em relação ao peso total, seu percentual reciclável e os locais onde tais materiais se encontram.

Material	Percentual em relação ao peso total	Percentual reciclável	Localização no computador
Al (alumínio)	14,1720	80	estrutura, conexões
Pb (chumbo)	6,2980	5	circuitos integrados, soldas, baterias
Ge (germânico)	0,0010	0	semicondutor
Fe (ferro)	20,4710	80	estrutura, encaixes
Sn (estanho)	1,0070	70	circuito integrado
Cu (cobre)	6,9280	90	condutor elétrico
Ba (bário)	0,0310	0	válvula eletrônica
Ni (níquel)	0,8500	80	estrutura, encaixes
Zn (zinco)	2,2040	60	Bateria
Au (ouro)	0,0016	98	conexão, condutores
Ti (titânio)	0,0150	0	pigmentos
Co (cobalto)	0,0150	85	estrutura
Mn (manganês)	0,0310	0	estrutura, encaixes
Ag (prata)	0,0180	98	condutor
Cr (cromo)	0,0060	0	decoração, proteção contra corrosão
Cd (cádmio)	0,0090	0	bateria, chip, semicondutor,
Hg (mercúrio)	0,0020	0	baterias, ligamentos, termostatos, sensores

Fig. 1. Tabela: Principais substâncias encontradas no lixo computacional e suas origens. Fonte: Cândido et al., 2009 apud Calvão et al., 2009, p. 266.

Para tratar o destino dos equipamentos eletrônicos que perderam sua utilidade, o Brasil conta com a Lei 12.305 [17], sancionada no dia dois de agosto de 2010. A Lei estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, definindo seus princípios, objetivos e instrumentos. Ela também orienta a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos, incluindo os perigosos, e determina as responsabilidades tanto dos geradores quanto do poder público. Além disso, a Lei regula o destino final dos resíduos no país e especifica o processo de logística reversa para produtos após o consumo, abordando o descarte adequado do lixo eletrônico.

- **Virtualização e Computação em Nuvem Verde:** A virtualização é uma tecnologia essencial na estratégia de sustentabilidade dentro da TI, pois permite que múltiplas operações e sistemas operacionais sejam executados simultaneamente em uma única infraestrutura física. Isso reduz significativamente a quantidade de servidores e

outros equipamentos necessários, resultando em menor consumo de energia, menor emissão de calor, e uma redução na necessidade de espaço físico [18]. Com menos equipamentos em operação, também diminui-se a quantidade de materiais utilizados na fabricação de *hardware*, como metais, plásticos, e outros componentes, contribuindo para a diminuição do impacto ambiental ao longo do ciclo de vida dos produtos.

Além disso, a virtualização facilita a consolidação de servidores, onde várias máquinas virtuais são hospedadas em um único servidor físico, maximizando a eficiência do uso de recursos. Isso permite que as organizações utilizem a capacidade total de seus servidores, reduzindo o desperdício de energia associado a servidores subutilizados. O *Green Cloud Computing* expande essa abordagem, otimizando o uso de recursos compartilhados em grandes *Data Centers*. Esses *Data Centers* utilizam tecnologias avançadas para gerenciar a demanda por recursos de computação de forma eficiente, frequentemente empregando energia renovável, como solar ou eólica, para alimentar suas operações. Práticas sustentáveis, como o resfriamento natural, que utiliza o ar externo para manter a temperatura interna dos servidores em níveis seguros, e o reaproveitamento de calor, onde o calor gerado pelos servidores é capturado e utilizado para aquecer outros espaços, são adotadas para minimizar o impacto ambiental [19].

- **Escolha de Materiais Sustentáveis:** A escolha de materiais recicláveis, como plásticos reciclados e metais não tóxicos, ajuda a minimizar a quantidade de resíduos sólidos gerados e a reduzir a demanda por recursos naturais virgens. Empresas como a *Dell* [20] e a *HP* [21] têm adotado essa prática, utilizando plásticos reciclados em seus produtos e embalagens.

A eliminação ou redução de substâncias tóxicas, como o chumbo e o mercúrio, que são frequentemente encontrados em componentes eletrônicos, é essencial para diminuir os riscos ambientais e para a saúde humana. A Diretiva *RoHS* (*Restriction of Hazardous Substances*) da União Europeia, por exemplo, estabelece limites para o uso dessas substâncias em equipamentos elétricos e eletrônicos [22].

- **Políticas de TI Verde:** A norma ISO 14001 [23] estabelece um sistema de gestão ambiental que ajuda as empresas a identificar e gerenciar os impactos ambientais de suas atividades. Essa norma incentiva a melhoria contínua das práticas ambientais e a conformidade com regulamentações.

O programa *Energy Star*, gerenciado pela EPA - *Environmental Protection Agency*, dos EUA, certifica produtos que atendem a critérios rigorosos de eficiência energética. Equipamentos de TI com certificação *Energy Star* consomem menos energia, contribuindo para a redução do desperdício de recursos e das emissões de carbono [24].

B. Adoção de Green IT no Mercado

A integração de práticas de *Green IT* tem se consolidado como uma estratégia fundamental para empresas do setor de tecnologia que buscam aliar eficiência operacional à responsabilidade ambiental. Com a crescente pressão por parte de consumidores e investidores por iniciativas sustentáveis, empresas de todos os portes estão reconhecendo a importância de incorporar a sustentabilidade em suas operações [25]. A adoção de *Green IT* não apenas contribui para a redução de custos e minimização do impacto ambiental, mas também fortalece a competitividade no mercado global. Nesse contexto, grandes corporações de tecnologia estão liderando o caminho com iniciativas robustas e inovadoras que buscam promover a sustentabilidade em larga escala. A seguir, destacam-se algumas das principais empresas que estão na vanguarda deste movimento:

- **Google:** A *Google* tem sido líder em promover práticas de sustentabilidade no setor de TI. De acordo com a *Greenpeace*, a empresa investe significativamente em energia renovável, buscando alimentar seus *data centers* com 100% de energia limpa [26]. A *Google* também apoia políticas de energia renovável tanto nos Estados Unidos quanto na União Europeia, com a meta de reduzir suas emissões de carbono em 30% até 2020. Além disso, a empresa utiliza inteligência artificial para otimizar o consumo de energia em seus *data centers*, aumentando a eficiência e reduzindo o impacto ambiental [27].
- **Microsoft:** A *Microsoft* também se destaca em práticas de *Green IT*, comprometendo-se a ser carbono negativo, ou seja, a empresa planeja remover mais dióxido de carbono da atmosfera do que emite em todas as suas operações, até 2030 [28]. Para atingir essa meta, a *Microsoft* tem investido em soluções inovadoras que capturam carbono, além de desenvolver tecnologias que auxiliam outras empresas a reduzir suas próprias emissões. A empresa também utiliza energia renovável em suas operações e está implementando inteligência artificial para melhorar a eficiência energética de seus *data centers*.
- **Apple:** A *Apple* é outra gigante da tecnologia que adota práticas de *Green IT*. A empresa tem a meta de ter toda a sua cadeia de fornecimento e produtos com impacto neutro em carbono até 2030 [29]. A *Apple* também utiliza materiais reciclados em seus produtos e está continuamente reduzindo o consumo de energia em seus dispositivos. Além disso, todos os *data centers* da *Apple* são alimentados por energia 100% renovável.

C. Impactos para o Desenvolvimento de Software e Infraestrutura Tecnológica

A adoção de práticas sustentáveis está gerando transformações significativas tanto no desenvolvimento de *software* quanto na infraestrutura tecnológica. No campo do desenvolvimento de *software*, os desenvolvedores estão sendo cada vez mais incentivados a criar soluções que não apenas atendam às necessidades funcionais, mas que também

sejam eficientes em termos de consumo de energia [30]. Isso se traduz na criação de algoritmos que otimizam o uso de recursos computacionais, minimizando a necessidade de processamento intensivo e o consumo de energia. Além disso, a redução do uso de dados desnecessários e a implementação de práticas de codificação que priorizam a sustentabilidade estão se tornando práticas recomendadas na indústria.

A infraestrutura tecnológica, por sua vez, está passando por uma transformação à medida que as empresas buscam integrar princípios de *Green IT* em seus *Data Centers*. Essas instalações estão sendo projetadas com foco na eficiência energética, utilizando tecnologias avançadas de resfriamento e gestão de energia para reduzir o consumo. O uso de fontes de energia renovável também está em ascensão, com empresas investindo em energia solar, eólica e outras formas sustentáveis para alimentar suas operações. De acordo com a *International Data Corporation* [31], a eficiência energética e a sustentabilidade se tornaram prioridades estratégicas para os *Data Centers*, refletindo uma tendência global de adoção dessas práticas como padrão à medida que a demanda por soluções tecnológicas sustentáveis continua a crescer.

D. Green IT e a Inteligência Artificial

A inteligência artificial (IA) representa uma área emergente que pode se beneficiar significativamente das práticas de *Green IT*. O crescente uso de aplicações assistidas por IA, que se tornou um paradigma consolidado e de crescente relevância, traz à tona a necessidade de considerar o desenvolvimento sustentável dessa tecnologia. Tsan-Ming Choi [32] destaca que, por meio do uso de algoritmos avançados, a IA pode ajudar a otimizar o consumo de energia em *data centers*, prever falhas de *hardware* antes que ocorram, e melhorar a eficiência dos sistemas de TI. Um exemplo notável dessa aplicação é o uso de IA para ajustar dinamicamente os sistemas de refrigeração em *data centers* da *Google*, reduzindo significativamente o consumo de energia [27]. Além disso, a IA pode ser empregada para analisar grandes volumes de dados e identificar padrões que levam à redução de desperdício de recursos, otimizando assim o uso de *hardware* e *software* de maneira mais eficiente [33].

No entanto, o uso de IA em *Green IT* também levanta questões sobre o próprio consumo energético dos algoritmos de aprendizado de máquina, especialmente os mais complexos e que demandam alta capacidade computacional [34]. Esse paradoxo exige novas abordagens para o desenvolvimento de IA de baixo consumo energético, de modo que possa contribuir para a sustentabilidade sem aumentar a pegada de carbono. Muitas pesquisas estão cada vez mais focadas no desenvolvimento de modelos que priorizem a eficiência energética, o uso otimizado de recursos computacionais e a redução das emissões de carbono.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

A literatura sobre *Green IT* aborda amplamente as práticas sustentáveis no setor de TI e suas implicações para as organizações. Murugesan [11] foi um dos pioneiros a definir

o conceito de *Green IT*, realçando a importância da eficiência energética e da gestão sustentável de recursos tecnológicos. Desde então, vários estudos têm explorado como a *Green IT* pode ser uma alavanca para a competitividade no mercado contemporâneo. Por exemplo, Melville [35] discute como a TI sustentável pode levar à criação de novos modelos de negócios e à melhoria da eficiência operacional, proporcionando vantagens competitivas às empresas.

A avaliação do impacto da sustentabilidade em TI tem sido feita através de diferentes perspectivas e metodologias. Watson [36] propõem uma abordagem de "*Energy Informatics*", que foca em como os sistemas de informação podem ser aproveitados para diminuir o consumo de energia, oferecendo, assim, soluções práticas para promover a sustentabilidade ambiental. Por outro lado, Dedrick [25] analisa a sustentabilidade em TI a partir de uma perspectiva econômica, estudando como a redução de custos energéticos e operacionais pode ser mensurada e como isso afeta a competitividade das empresas.

Metodologias quantitativas, como análises de custo-benefício, têm sido amplamente utilizadas para medir o retorno financeiro das práticas de *Green IT*. Além disso, abordagens qualitativas, como estudos de caso e entrevistas com gestores de TI, têm fornecido *insights* sobre os desafios e as oportunidades associadas à implementação de práticas sustentáveis [37]. Essas metodologias permitem uma compreensão mais ampla dos impactos da *Green IT*, considerando tanto os benefícios econômicos quanto os sociais e ambientais.

Diversos estudos têm analisado o impacto econômico da adoção de práticas de *Green IT* nas empresas. De acordo com Molla [38], a adoção de *Green IT* pode resultar em economias significativas em custos operacionais, além de melhorar a imagem corporativa, o que pode atrair clientes preocupados com a sustentabilidade. Da mesma forma, Bose e Luo [37] destacam que a *Green IT* pode fornecer um diferencial competitivo ao permitir que as empresas não só reduzam seus custos, mas também se destaquem no mercado por suas práticas ambientalmente responsáveis.

Outra perspectiva econômica é abordada por Gholami [39], que demonstra que a implementação de práticas de *Green IT* pode aumentar a visibilidade das empresas entre investidores que valorizam a sustentabilidade, potencialmente resultando em melhores avaliações financeiras. Esses estudos sugerem que a adoção de *Green IT* pode, portanto, ser um fator de vantagem competitiva e um atrativo para *stakeholders*, reforçando a ideia de que a sustentabilidade e o desempenho econômico não são mutuamente exclusivos, mas podem se complementar de maneira estratégica.

Embora a literatura sobre *Green IT* tenha crescido significativamente, ainda existem lacunas que precisam ser melhor exploradas. Na visão de Jenkin [40], uma dessas lacunas é a falta de estudos que abordem o impacto de políticas governamentais e regulatórias na adoção de práticas de *Green IT*. Enquanto alguns trabalhos discutem a influência de regulamentações ambientais gerais, poucos analisam como legislações específicas para o setor de TI podem incentivar ou dificultar a implementação de práticas sustentáveis.

Já para Murugesan [11], uma área que necessita de mais pesquisas é a análise do ciclo de vida dos produtos de TI e sua relação com a sustentabilidade. Em sua visão, estudos sobre *Green IT* tendem a se concentrar principalmente no uso e descarte de tecnologias, mas há uma necessidade de explorar como práticas sustentáveis podem ser integradas desde as fases iniciais de design e produção.

Por fim, Chou [41] acredita que é necessário um maior foco em estudos que abordem a percepção dos consumidores e usuários finais em relação à *Green IT*. A aceitação e o apoio do público às práticas sustentáveis podem ser determinantes para a implementação e o sucesso dessas iniciativas no mercado.

IV. CONCLUSÃO

Este artigo explorou como a adoção de práticas de *Green IT* está transformando o mercado de Tecnologia da Informação, destacando a importância da sustentabilidade tanto no desenvolvimento de *software* quanto na infraestrutura tecnológica. Foram discutidos os principais benefícios econômicos e estratégicos associados à implementação de práticas sustentáveis, como a redução de custos operacionais, a melhoria da imagem corporativa e o diferencial competitivo que essas práticas podem proporcionar.

O futuro da *Green IT* como fator competitivo parece promissor, com tendências emergentes indicando uma crescente integração de práticas sustentáveis nas estratégias de TI. A continuidade da evolução tecnológica, juntamente com uma maior conscientização sobre as questões ambientais, sugerem que a sustentabilidade se tornará um diferencial cada vez mais importante para as empresas [41]. As tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, podem desempenhar um papel crucial na otimização dos recursos e na melhoria da eficiência, mas também é necessário abordar o paradoxo do consumo energético associado a essas tecnologias. Ademais, a revisão bibliográfica identificou lacunas que precisam ser exploradas, como a falta de estudos sobre o impacto das regulamentações específicas para o setor de TI e a necessidade de mais pesquisas sobre a implementação sustentável desde o design e a produção dos produtos.

Portanto, a adoção de práticas de *Green IT* não é apenas uma resposta às exigências ambientais atuais, mas também uma estratégia essencial para empresas que buscam se destacar em um mercado cada vez mais competitivo.

V. REFERÊNCIAS

- [1] F. L. de Azevedo BRAYNER, P. G. S. RAMOS, and P. V. de Azevedo BRAYNER, “Ti verde: Sustentabilidade na área da tecnologia da informação,” *SAÚDE E MEIO AMBIENTE*, p. 63.
- [2] “Us pollution may damage uk health,” BBC News, Tech. Rep., 2004.
- [3] A. Macohin and P. C. Busato, “A sustentabilidade na informática—reciclagem e eliminação dos produtos tóxicos das peças de computadores,” *Centro Universitário Franciscano UNIFAE*, 2007.
- [4] S. Fauchaux and I. Nicolăi, “It for green and green it: A proposed typology of eco-innovation,” *Ecological economics*, vol. 70, no. 11, pp. 2020–2027, 2011.
- [5] T. S. Project, “Climate crisis: the unsustainable use of online video: Our new report on the environmental impact of ict,” <https://theshiftproject.org/en/article/unsustainable-use-online-video/>, acessado em 24/08/2024.
- [6] L. M. Hilty and B. Aebischer, *ICT innovations for sustainability*. Springer, 2015, vol. 310.
- [7] A. S. Andrae and T. Edler, “On global electricity usage of communication technology: trends to 2030,” *Challenges*, vol. 6, no. 1, pp. 117–157, 2015.
- [8] D. Schöder, F. Ding, and J. K. Campos, “The impact of e-commerce development on urban logistics sustainability,” *Open Journal of Social Sciences*, vol. 4, no. 3, pp. 1–6, 2016.
- [9] P. Zhu and S. G. Mason, “The impact of telecommuting on personal vehicle usage and environmental sustainability,” *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 11, pp. 2185–2200, 2014.
- [10] W. Marz and S. Şen, “Does telecommuting reduce commuting emissions?” *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 116, p. 102746, 2022.
- [11] S. Murugesan, “Harnessing green it: Principles and practices,” *IT professional*, vol. 10, no. 1, pp. 24–33, 2008.
- [12] S. Raja, “Green computing and carbon footprint management in the it sectors,” *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 8, no. 5, pp. 1172–1177, 2021.
- [13] A. d. S. de Sousa Teodósio, J. C. Barbieri, and J. M. Csillag, “Sustentabilidade e competitividade: novas fronteiras a partir da gestão ambiental,” *Revista Ibero Americana de Estratégia*, vol. 5, no. 1, pp. 37–49, 2006.
- [14] D. d. C. Marques, “Computação verde e seus impactos ao meio ambiente,” 2021.
- [15] F. Lima, “O que é ti verde e quais empresas já aderiram a prática,” <https://www.remessaonline.com.br/blog/o-que-e-ti-verde-e-quais-empresas-ja-aderiram-a-pratica/>, 2020, acessado em 24/08/2024.
- [16] K. Koliass, J. N. Hahladakis, and E. Gidarakos, “Assessment of toxic metals in waste personal computers,” *Waste management*, vol. 34, no. 8, pp. 1480–1487, 2014.
- [17] Brasil, “Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010,” https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm, acessado em 24/08/2024.
- [18] D.-A. Dasilva, L. Liu, N. Bessis, and Y. Zhan, “Enabling green it through building a virtual desktop infrastructure,” in *2012 Eighth International Conference on Semantics, Knowledge and Grids*. IEEE, 2012, pp. 32–38.
- [19] L.-D. Radu, “Green cloud computing: A literature survey,” *Symmetry*, vol. 9, no. 12, p. 295, 2017.
- [20] DELL, “Dell sustainable devices,” <https://www.dell.com/en-us/lp/dt/sustainable-devices>, acessado em 24/08/2024.
- [21] S. Thakkar, “Hp’s ocean-bound plastics initiative: Transforming waste into sustainable technology,” <https://www.hp.com/us-en/shop/tech-takes/hp-computers-made-with-oceanbound-plastics>, acessado em 06/09/2024.
- [22] U. Europeia, “Restriction of hazardous substances in electrical and electronic equipment (rohs),” https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/rohs-directive_en, acessado em 24/08/2024.
- [23] ABNT, “Iso 14001,” <https://www.ipen.br/biblioteca/slr/cel/N3127.pdf>, acessado em 24/08/2024.
- [24] E. P. Agency, “Energy star,” <https://www.energystar.gov/>, acessado em 24/08/2024.
- [25] J. Dedrick, “Green is: Concepts and issues for information systems research,” *Communications of the Association for Information Systems*, vol. 27, no. 1, p. 11, 2010.
- [26] V. Barbosa, “As 5 empresas de ti que mais apostam em soluções verdes,” https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm, acessado em 24/08/2024.
- [27] J. G. Richard Evans, “Deepmind ai reduces google data centre cooling bill by 40%,” <https://deepmind.google/discover/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-by-40/>, acessado em 25/08/2024.
- [28] B. Smith, “Microsoft will be carbon negative by 2030,” <https://blogs.microsoft.com/blog/2020/01/16/microsoft-will-be-carbon-negative-by-2030/>, acessado em 25/08/2024.
- [29] Apple, “Apple commits to be 100 percent carbon neutral for its supply chain and products by 2030,” acessado em 25/08/2024.
- [30] H. Cervantes and R. Kazman, *Designing software architectures: a practical approach*. Addison-Wesley Professional, 2016.
- [31] international Data Corporation, “Datacenter dilemma: Balancing capacity demand with environmental responsibility,” acessado em 25/08/2024.
- [32] T.-M. Choi, J. Gao, J. H. Lambert, C.-K. Ng, and J. Wang, *Optimization and control for systems in the big-data era: theory and applications*. Springer, 2017, vol. 252.
- [33] M. B. Siqueira, V. M. d. Santos, E. H. Diniz, and A. P. A. Cruz, “Artificial intelligence for sustainability: A systematic literature review in information systems,” *Revista de Gestão Social e Ambiental*, vol. 18, no. 3, p. e07885, Jul. 2024. [Online]. Available: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/7885>
- [34] E. Strubell, A. Ganesh, and A. McCallum, “Energy and policy considerations for modern deep learning research,” in *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence*, vol. 34, no. 09, 2020, pp. 13 693–13 696.
- [35] N. P. Melville, “Information systems innovation for environmental sustainability,” *MIS quarterly*, pp. 1–21, 2010.
- [36] R. T. Watson, M.-C. Boudreau, and A. J. Chen, “Information systems and environmentally sustainable development: energy informatics and new directions for the is community,” *MIS quarterly*, pp. 23–38, 2010.
- [37] R. Bose and X. Luo, “Green it adoption: a process management approach,” *International Journal of Accounting & Information Management*, vol. 20, no. 1, pp. 63–77, 2012.
- [38] A. Molla, V. Cooper, and S. Pittayachawan, “The green it readiness (g-readiness) of organizations: an exploratory analysis of a construct and instrument,” *Communications of the Association for Information Systems*, vol. 29, no. 1, p. 4, 2011.
- [39] R. Gholami, A. B. Sulaiman, T. Ramayah, and A. Molla, “Senior managers’ perception on green information systems (is) adoption and environmental performance: Results from a field survey,” *Information & management*, vol. 50, no. 7, pp. 431–438, 2013.
- [40] T. A. Jenkin, J. Webster, and L. McShane, “An agenda for ‘green’ information technology and systems research,” *Information and organization*, vol. 21, no. 1, pp. 17–40, 2011.
- [41] D. C. Chou and A. Y. Chou, “Awareness of green it and its value model,” *Computer Standards & Interfaces*, vol. 34, no. 5, pp. 447–451, 2012.