

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM REDES DE COMPUTADORES E
TELEINFORMÁTICA**

MANFRED REGINATO DE SOUZA

**ASPECTOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES DE
CARBONO EM DATA CENTERS: INDICADORES**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2018

MANFRED REGINATO DE SOUZA

**ASPECTOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES DE
CARBONO EM DATA CENTERS: INDICADORES**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas

CURITIBA

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Redes de Computadores e
Teleinformática



TERMO DE APROVAÇÃO

ASPECTOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES DE CARBONO EM DATA CENTERS: INDICADORES

por

MANFRED REGINATO DE SOUZA

Esta monografia foi apresentada em 10 de Julho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Redes de Computadores e Teleinformática. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Orientador

Prof. Dr. Ednilson José da Silva
Membro titular

Prof. M.Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

- O Termo de Aprovação Assinado Encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à minha família,
pelos momentos de ausência, pelo
suporte recebido.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Eu não procuro saber as respostas, procuro compreender as perguntas.
Confúcio

RESUMO

SOUZA, Manfred Reginato. **Aspectos de eficiência energética e emissões de carbono em Data Centers: indicadores**. 2018. 39 f. Monografia de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Atualmente os *Data Centers* tem assumido um papel de destaque na vida das pessoas. Aplicativos, redes sociais, repositórios de dados, estão armazenados nessas estruturas apresentando altas taxas de disponibilidade, que em outras palavras se traduz e redundância. Essas estruturas consomem um percentual expressivo da energia consumida no mundo e esse percentual tem crescido, uma vez que a demanda por esses serviços só aumenta. Por representarem interesses privados, a obtenção de dados desses *Data Centers* é complexa, diversos autores relataram isso, sendo que muitos dados atualmente são estimativas. Numa tentativa de quebrar a resistência das empresas e para fornecer subsídios para que elas avaliem a sua eficiência, instituições como o The Green Grid, tem ao longo do tempo desenvolvido uma série de indicadores para medição da eficiência energética dos *Data Centers*. O presente trabalho discorre sobre a essas iniciativas e sobre as estratégias que visam facilitar a adoção desses indicadores.

Palavras-chave: Data Center. Eficiência Energética. TI Verde. Indicadores. Carbono.

ABSTRACT

SOUZA, Manfred Reginato. **Aspects of energy efficiency and carbon emissions in Data Centers: indicators**. 2018. 39 f. Monografia de Especialização em Redes de Computadores e Teleinformática, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Nowadays, Data Centers have assumed a prominent role in people's lives. Applications, social networks, data repositories, are stored in these structures presenting high rates of availability, which in other words translates and redundancy. These structures consume an expressive percentage of the energy consumed in the world and this percentage has grown, since the demand for these services only increases. Because they represent private interests, obtaining data from these Data Centers is complex, several authors have reported this, and that many data currently are estimates. In an attempt to break down corporate resilience and to provide subsidies for them to evaluate their efficiency, institutions such as The Green Grid has developed a series of indicators to measure the energy efficiency of data centers. This study deals with these initiatives and strategies to facilitate the adoption of these indicators.

Keywords: Data Center. Energy Efficiency. Green IT. Indicators. Carbon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Previsão do uso da eletricidade nos Data Centers dos EUA	18
Figura 2. Média de valores de PUE de Data Centers reportados entre 2011 e 2014	23
Figura 3. Dashboard do Data Center do facebook na cidade de Forest City, NC	24
Figura 4. Locais de medição das variáveis para o cálculo dos indicadores	26
Figura 5. Gráfico das curvas psicrométricas, limites aplicados a partir de 2011	33
Figura 6. Gráfico das curvas psicrométricas, limites aplicados a partir de 2015	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativa e projeção do consumo de energia em TWh Global, para a União Europeia e para os Estados Unidos.....	15
Tabela 2. EWIF adotado pelo consumo de água por produção de energia por estado dos EUA (l/kWh).....	31
Tabela 3. Comparação dos valores para Data Center segundo a ASHRAE	32

LISTA DE SIGLAS

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
CAGR	<i>Compound Annual Growth Rate</i>
CEF	<i>Carbon Emission Factor</i>
COPs	<i>Conference of the Parties</i>
CPD	<i>Centro de Processamento de Dados</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CRAC	<i>Computer Room Air Conditioner</i>
CUE	<i>Carbon Usage Effectiveness</i>
DCE	<i>Data Center Efficiency</i>
DCEP	<i>Data Center Energy Productivity</i>
DCIE	<i>Data Center Infrastructure Efficiency</i>
DX	<i>Direct Expansion</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ERE	<i>Energy Reuse Efficiency</i>
EUA	<i>Estados Unidos da América</i>
EWIF	<i>Energy Water Intensity Factor</i>
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
ICT	<i>Information and communication technology</i>
IT	<i>Informations Technology</i>
ONGs	<i>Organizações não Governamentais</i>
PDU	<i>Power Distribution Unit</i>
PUE	<i>Power Usage Effectiveness</i>
SITS	<i>Sustainable Information Technology Services</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
TCO	<i>Total Cost Ownership</i>
TGG	<i>The Green Grid</i>
TI	<i>Tecnologia da Informação</i>
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WUE	<i>Water Usage Effectiveness</i>
xUE	<i>xUsage Effectiveness</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3 MÉTRICAS E INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM DATA CENTERS	25
4 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Data centers são conhecidos como ambientes de missão crítica, responsáveis por armazenarem diversas estruturas e equipamentos, destinados ao processamento, armazenamento e proteção das informações vitais para a sequência dos negócios e, conseqüentemente, da continuidade das operações de uma organização (MARIN, 2011).

Anteriormente chamados de Centros de Processamento de Dados, os *Data Centers*, sempre ocuparam um lugar de destaque nas organizações. Recentemente em evento em São Paulo, o Presidente Executivo da Microsoft, Satya Nadela, declara sua previsão de que as empresas, dos mais diferentes ramos, vão no futuro se transformar em empresas de tecnologia (GONZAGA, 2015). A alusão faz referência a competitividade que a tecnologia tem trazido aos mais diferentes modelos de negócio. Ela, será vital para a manutenção e sobrevivência de empresas. O crescimento da Economia Compartilhada é um bom exemplo de como a tecnologia tem transformado a economia.

Nos dias atuais, motivados principalmente pelo advento da “nuvem”, a presença de *Data Centers* se popularizou rapidamente. A Nuvem, pode ser formalmente definida como um sistema de nós virtualizados de forma paralela e distribuída, com a capacidade de prover dinamicamente novos recursos baseados em níveis de serviço acordados entre clientes e provedores de serviços (BOHRA; CHAUDHARY, 2010).

Devido seu crescimento, um número grande de desafios e problemas vieram a discussão. Aspectos como questões geográficas de soberania nacional, regras de *compliance*, e a que tem repercutido de forma mais veemente nos dias de hoje: consumo energético.

Para se ter uma ideia, todos os serviços endereçados à nuvem estão hospedados em *Data Centers*, quer sejam eles públicos ou privados, híbridos ou não: os perfis no Facebook, as fotos no Instagram, os e-mails no Gmail, os dados no iCloud, Dropbox, Onedrive e Google Drive; tudo está na nuvem (*cloud*).

De forma simplificada, a nuvem nada mais é do que um conjunto de servidores, interligados, compartilhando conjuntos de discos com milhares de centenas bytes. Essa estrutura funciona segundo um *Service Level Agreement* (SLA, ou Acordo de Nível de Serviço), o qual prevê funcionamento dessas estruturas 24 horas por dia, 7 dias por semana, 365 dias por ano, com uma efetividade de 99,99% de *Uptime* no período.

A grande quantidade de energia consumida por essas estruturas, quer seja para o funcionamento dos servidores e ativos que compõem a infraestrutura de rede, quer seja para a solução de climatização responsável por evitar o aquecimento e mal funcionamento dos equipamentos do *Data Center*, tem crescido de forma acelerada. Segundo Avgerinou, Bertoldi e Castellazzi (2017), os sistemas de resfriamento em *Data Centers* podem corresponder a 40% da demanda de energia total, nos sistemas mais eficientes esse valor chega a 24% e nos menos eficientes pode chegar a 61%.

Além do consumo energético que por si já é elevado, parte significativa do impacto, pode ser atribuída a matriz energética do país onde o *Data Center* está localizado. Países onde parte da energia elétrica é gerada pela queima de combustível fóssil, exacerbam um aspecto ainda mais perverso, em virtude das emissões de carbono oriundas da queima, em contraponto com a energia proveniente de fontes renováveis.

Essa forma de se enxergar o consumo de energia tem se difundido atualmente dada pela importância da gestão das emissões de carbono como estratégia na redução do aquecimento global. Essa abordagem é extremamente pertinente, devido a parte da energia consumida em *Data Center*, principalmente fora do Brasil, ser gerada a partir da queima de combustível fóssil. Assim sendo para funcionar um *Data Center* utiliza carbono em sua essência. Essa realidade tem sido modificada gradualmente, com a inserção de outras modalidades de produção de energia para *Data Centers* menos dependentes do carbono, como eólica e solar.

Recentemente a Microsoft fez o lançamento de um *Data Center* marítimo, trata-se de uma das ações do projeto Natick, que vem sendo desenvolvido pela empresa. A estrutura é composta de 12 *hacks*, contendo um total de 864 servidores com capacidade de armazenar cerca de 27,6 petabytes (1 petabyte equivale a 1000 terabytes), consumindo 240 kW de energia elétrica. Esse *Data Center* utiliza energia 100% renovável gerada a partir de diferentes matrizes: solar, eólica e energia gerada

a partir do movimento das ondas e marés para seu funcionamento. Esse projeto também se utiliza da água do mar para reduzir os gastos com o resfriamento do *Data Center*. Essa abordagem é uma das muitas que tem surgido para solucionar o problema. Outro aspecto benéfico dessa iniciativa, é que esses *Data Centers* serão alocados em área costeira, facilitando a disponibilização de infraestrutura de dados para um contingente populacional expressivo. Segundo matéria publicada pelo site Tecmundo, metade da população da terra habita a uma distância de até 200 Km da costa. Esse projeto da Microsoft ajudará a compor os serviços em nuvem da empresa, conhecido como Microsoft Azure.

Silvio Meira 2016, aborda o problema do crescimento nos *Data Centers* apresentando os seguintes dados: em 2008, o conjunto de todos os *Data Centers* do mundo consumiam a energia equivalente a Argentina, projetando-se para 2016, dado que o consumo do Brasil que era aproximadamente 500 Terawatts e corresponde a 2,5 vezes o consumo da Argentina, tem-se algo próximo de 200 Terawatts. O consumo mundial global de energia é de 25000 Terawatts, sendo que 20% desse consumo é atribuído a EUA e 20% à China, os demais 60% ficam distribuídos entre o restante do planeta. Apenas a título de informação, a União Europeia toda, consome 3000 Terawatts. Está previsto para 2016 um aumento na demanda por energia elétrica correspondente a no mínimo o consumo de Portugal, e no máximo a Áustria. Sobre a matriz energética Silvio Meira menciona que 40% dela, é obtida a partir da queima de carvão fóssil. A China estabeleceu uma meta para até 2021 possuir 25% de sua grade de energia renovável (MEIRA, 2016).

Não existem estimativas recentes sobre o consumo total de energia em *Data Centers* europeus ou sobre a sua eficiência energética (AVGERINOU; BERTOLDI; CASTELLAZZI, 2017, p. 3). Poucos estudos investiguem o desempenho energético e a eficiência dos *Data Centers* com base em dados reais. Os estudos existentes se basearam conjuntos de dados muito menores, em estimativas ou baseados apenas na pesquisa conduzida por Koomey (2008).

Na Tabela 1, pode se observar a sumarização dos levantamentos disponíveis apresentados por Avgerinou, Bertoldi e Castellazzi (2017, p. 2), segundo o autor, Van Heddeghem calculou o consumo global, levando em consideração a abordagem metodológica de Koomey, com um crescimento anual de 12%, o levantamento optou por relacionar no levantamento servidores órfãos, aqueles que utilizam energia

elétrica, porém não fornecem serviços aos clientes do *Data Center*. Nesse trabalho o autor também menciona que existem poucas evidências para dar sustentação a essas estimativas. Vários fatores são apresentados como justificativa para a ausência de informação no consumo de energia em *Data Centers*: falta de monitoramento no uso da energia, mudanças tecnológicas, densidade crescente e a rara divulgação de dados por parte das empresas.

Tabela 1. Estimativa e projeção do consumo de energia em TWh Global, para a União Europeia e para os Estados Unidos

Consumo (TWh)	Ano	Referência
Europa		
18.3	2000	Koomey
41.3	2005	Koomey e Whitehead
56.0	2007	Bertoldi
72.5	2010	Whitehead
104.0	2020	Bertoldi
Estados Unidos		
91.0	2013	Ni
140.0	2020	NI
Global		
216.0	2007	Van Heddeghem
269.0	2012	Van Heddeghem

Fonte: Avgerinou, Bertoldi e Castellazzi (2017).

Os custos de implantação e manutenção de um *Data Center* são elevados e isso torna ainda mais complexo o processo de adequações a novas e mais eficientes tecnologias que resultariam em maior eficiência energética. Um fato importante apresentado por Pedram (2012, p. 1469), é que *Data Centers* Privados, apresentam em média custo entre 5 a 7 vezes superior aos da nuvem. O termo *Data Center* Privado, se refere a CPDs de empresas, que não disponibilizam acesso aos clientes, como os de nuvem pública. Seu foco é de prover capacidade de armazenamento e poder computacional para seu negócio. Logo os custos de investimento nesses *Data Centers* são absorvidos pelo desempenho do negócio. Como, por exemplo, uma empresa do setor automobilístico, que possui seu *Data Center* para atender as suas necessidades particulares. Essas estruturas normalmente, não conseguem escala operacional que permita maiores investimentos, o que explica a sua ineficiência.

Isso, por sua vez, explica o movimento de migração de *Data Centers* privados para o uso da nuvem pública. Pois esses, permitem a redução de custos. *Data Centers* públicos, tem aumentado em muito seu nível de segurança. Compromissados fortemente com políticas de confidencialidade, tem também apoiado esses movimentos de migração.

Analisando esse cenário, verifica-se que muitos desafios se apresentam para o enfrentamento. A dependência da tecnologia não nos permite retroceder. Seu crescimento é inevitável, tendo que conciliar as necessidades de provimento de serviços por *Data Centers* com o compromisso com o meio ambiente e sua manutenção para as próximas gerações. Essas estruturas, os *Data Centers*, vieram para ficar e representarão cada vez mais papel relevante na vida de cada ser humano.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo apresentar algumas soluções para monitoramento dos diferentes problemas enfrentados pelo rápido crescimento dos *Data Centers* no que diz respeito ao consumo de energia. As iniciativas de definição de indicadores e métricas de fácil obtenção para a verificação da eficiência energética e aderência a critérios de sustentabilidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral neste trabalho de conclusão de curso os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Apresentar um panorama dos problemas enfrentados pelas empresas no enfrentamento das questões relacionadas a eficiência energética em *Data Centers*;
- Identificar fragilidades nos procedimentos de obtenção de indicadores de sustentabilidade;
- Analisar as dificuldades a serem enfrentadas no processo de expansão dos *Data Centers*;

- Sugerir estratégias para estimular a adoção de indicadores por parte dos *Data Centers*.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em capítulos, a saber: no primeiro realizou-se uma rápida introdução ao problema, abordando a evolução do consumo de energia por parte dos *Data Centers*; o segundo capítulo apresenta uma revisão da bibliografia sobre o assunto eficiência energética com foco nas soluções apresentadas no enfrentamento de cada problema, como a virtualização, melhorias nos processos de climatização, escala, entre outros; no terceiro capítulo são apresentados detalhadamente os indicadores de sustentabilidade desenvolvidos pelo TGG.

E por fim, o quarto capítulo, apresenta as conclusões encontradas na análise dos problemas bem como algumas sugestões sobre maneiras de sensibilizar as empresas na adoção de práticas de monitoramento contínuo de sua eficiência.

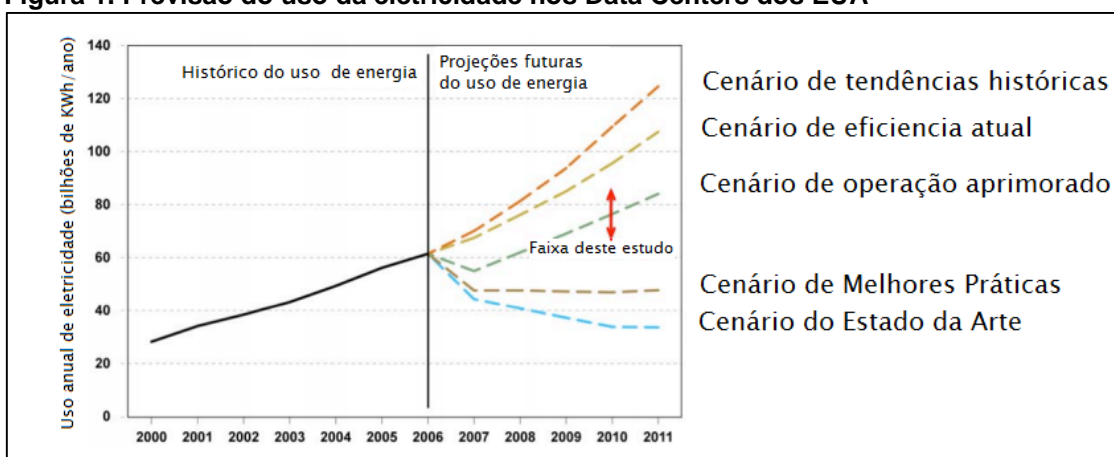
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cerca de 40% dos *Data Centers* do mundo estão localizados nos Estados Unidos. Mesmo durante a crise econômica ocorrida entre 2007 e 2010 o consumo de eletricidade desses *Data Centers* cresceu cerca de 40% segundo dados obtidos do Greenpeace (PEDRAM, 2012, p. 1465). Em 2006, o consumo de energia em *Data Centers* nos Estados Unidos era de 61 bilhões de KWh representando um custo de 4,5 bilhões de dólares. Apenas os *Data Centers* federais correspondiam a 10% desse consumo. No que se referia a eficiência energética, o relatório previa se as melhores práticas fossem adotadas, seria possível uma redução de 55% na tendência de crescimento existente à época.

Para se ter ideia, em 2000, o consumo de energia elétrica por *Data Centers* nos EUA, correspondia a 0,8% do total. Em 2005, esse valor subiu para 1,5%, em 2007, já era de 1,7% chegando a 2010 a 2,2%.

Como se pode ver no gráfico da Figura 1, elaborado por Koomey (2011, p. 15), o valor atingido em 2010, contrariou a previsão do EPA de 2007 que estimava um crescimento de 93% para 2010, contudo, acabou-se observando um crescimento de 53%, bem abaixo da estimativa. Primeiramente, atribui-se essa redução ao crescimento do uso da virtualização para otimização da distribuição das cargas de trabalho nos *Data Centers* e as melhorias na tecnologia dos servidores, mais tarde se constatou que o impacto se deu diretamente pela redução na base de servidores instalados.

Figura 1. Previsão do uso da eletricidade nos Data Centers dos EUA



Fonte: Koomey (2011).

Segundo Kovar (2011), apenas o Google em 2008, era responsável por cerca de 0,8% do consumo mundial de energia entre os *Data Centers* e por 0,011% do consumo mundial como um todo. No estudo de Koomey (2011, p. 23), sobre o Google, o New York Times citava a existência de uma base de 1 milhão de servidores em 2010, sendo que em 2005 esse número era de 350 mil contra cerca de 25 mil em 2000. Baseado em conversações com o Google, Koomey, estimou para 2010 um consumo de 1,9KWh.

Abordando o tema do Futuro da TI Sustentável, Harmon, Daim e Raffo (2010), descrevem duas ondas distintas, a primeira denominada TI Verde, e a segunda Serviços Sustentáveis de TI (SITS). Na primeira, o foco era maximizar o uso eficiente de recursos computacionais para minimizar o impacto ambiental. Até recentemente eram ignoradas questões ecológicas de TI, como o consumo de energia para *Data Centers* e operações de TI. Devido o rápido aumento do consumo de energia por parte dos *Data Centers* além da preocupação com a disponibilidade da energia, esses fatores passaram a ser limitantes para a implantação de novos *Data Centers*, principalmente para grandes empresas. Na primeira década do século, os custos de energia para os *Data Centers* apresentavam um CAGR na ordem de 20% para a próxima década. Ocasionalmente um afastamento de investimentos em novos equipamentos em TI além de planos de expansão de negócios. Os custos elevados com energia e a crescente preocupação com as emissões de CO₂ - dióxido de carbono, das operações de TI são elementos fundamentais por trás do movimento de TI Verde. Contrastantes com a diminuição dos orçamentos de TI e também das condições econômicas desafiadoras que certamente persistirão proporcionando a motivação para que as empresas adotem soluções ecológicas de TI.

Segundo Aksanli et al. (2013, p. 208) a eficiência energética das redes de *Data Centers* ganhou muita importância, trabalhos anteriores utilizam a migração cargas de trabalho sobre a WAN para aproveitar as variações de demanda de eletricidade, preço e disponibilidade de energia verde em diferentes locais. Mas, esses sistemas de larga escala têm muitos aspectos diferentes a serem modelados que foram negligenciados em trabalhos anteriores. Ele mostra que a utilização de modelos de preços de energia de *Data Center* imprecisos pode superestimar a economia de custo em até 2,6 vezes. Aksanli mostra a utilização de um algoritmo de minimização de custos capaz de reduzir o custo de energia do *Data Center* em até 28%.

O volume dos serviços prestado pelos *Data Centers* nos dias atuais, motivou também outras discussões, pautadas pela busca de sistemas mais eficientes energeticamente, pela melhoria do desempenho do hardware envolvido, pelas funcionalidades de software que permitem a exploração dos recursos da infraestrutura de forma a minimizar o consumo energético. Disso emergiram várias tecnologias, entre elas a virtualização.

A virtualização minimiza a dependência do hardware físico. Um hipervisor é um programa que permite que várias máquinas virtuais compartilhem um único servidor. Assim a virtualização fornece uma nova maneira de otimizar o uso da energia em *Data Centers* por meio da consolidação, ou seja, atribuindo mais de uma máquina virtual a um servidor físico.

Em cenários onde o número de servidores necessário varia no decorrer do tempo, como por exemplo: um site de venda de ingressos, alguns servidores podem ser desligados quando não necessários e religados posteriormente, fazendo com que o consumo de energia diminua. Isso ocorre porque os servidores consomem mais de 60% de sua potência de pico no estado ocioso e o desligamento de um servidor melhora a eficiência de energia do sistema. A consolidação de cargas de trabalho em servidores pode afetar o desempenho das máquinas virtuais individualmente devido à redução dos recursos físicos disponíveis (CPU, memória, banda), mas aumentando a eficiência no uso da energia.

Anan e Nasser (2015) utilizam um algoritmo de otimização para posicionamento dinâmico de máquinas virtuais para computação em nuvem. O algoritmo proposto na alocação das máquinas virtuais em servidores levou a uma melhor utilização dos servidores dos *Data Centers*, pois servidores não utilizados puderam ser desativados ou entrarão no modo de suspensão para redução do custo com energia. Isso tudo garantindo que a maioria dos clientes recebesse os serviços em níveis aceitáveis com um número limitado de servidores ativos.

Segundo Pedram (2012, p. 1471) citando um documento da VMWARE em geral hospedam-se algo próximo a dez cargas de trabalho em um servidor físico, mas algumas empresas estão consolidando até 30 ou 40 cargas de trabalho em um único servidor. Dessa forma maximiza-se a utilização do servidor fazendo com que os custos de energia e resfriamento do *Data Center* sejam reduzidos.

Como uma funcionalidade derivada da virtualização, caso seja necessário que essas máquinas virtuais rodem em um ambiente menos limitado, servidores físicos podem ser escalonados e as cargas de trabalho podem ser migradas sem interrupção na disponibilidade para servidores menos congestionados, retornando as cargas ao servidor original quando não houver necessidade. Essa funcionalidade está presente nas principais soluções de virtualização, recebendo diferentes nomes comerciais. No caso da Microsoft, ela é chamada de Live Migration, já na VMware ele se chama vMotion e no Citrix XenServer se chama XenMotion, (FENG et al., 2011; ELSAID; MEINEL, 2016).

Sobre climatização de *Data Centers*, Coles, Ellsworth e Martinez (2011), informam que algo entre um terço a metade do consumo de energia do *Data Center* refrigerado a ar é desperdiçado na alimentação dos sistemas de resfriamento. O resfriamento líquido se apresenta como uma estratégia para redução do consumo de energia de refrigeração para as novas gerações de computadores em função da eficiência na transferência de calor entre líquidos ser maior do que a do ar.

Avgerinou, Bertoldi e Castellazzi (2017, p. 2), cita baseado no artigo “ICT Helping Tackle Climate Change Could Help Cut Global Emissions 20% by 2030” da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) que o setor de TIC, incluindo os *Data Centers*, são responsáveis por 2% das emissões de gases de efeito estufa, representando o mesmo impacto do setor da aviação.

Muitas iniciativas foram sendo apresentadas para a otimização do consumo de energia, redução nas emissões de CO₂ e maximização do lucro. Kessaci, Melab e Talbi (2013) apresentam um algoritmo genético multiobjetivo, chamado MO-GA, para uma infraestrutura de computação em nuvem distribuída geograficamente. Eles propõem uma abordagem de alocação de recursos para nuvem baseado em Pareto, focada em energia, emissão de gases de efeito estufa e lucro usando o algoritmo para encontrar o melhor escalonamento conforme os objetivos acima mencionados.

Uma vez que o ambiente de nuvem distribuído permite aos provedores implementarem uma estratégia dinâmica de gerenciamento de energia reduzindo as emissões de CO₂, Giacobbe et al. (2015), apresenta uma abordagem que visa determinar uma matriz de destino/granularidade para avaliação de custo de energia em termos de emissão de dióxido de carbono por kWh e o caminho de migração ideal

em um período previsto. Tudo baseado na capacidade de migração das cargas de trabalho entre hosts.

A partir da metade da primeira década desse século, quando o problema com consumo energético em *Data Centers* começou a se evidenciar, algumas iniciativas de mensuração começaram a surgir. O indicador da eficiência energética de *Data Centers Power Usage Effectiveness* (PUE), apresentado pelo Green Grid em 2007, obtido pela razão entre a energia utilizada pelo *Data Center*, pela energia consumida por toda a instalação do *Data Center* e a energia consumida pelos equipamentos da infraestrutura de TI foi um dos primeiros. Quanto mais próximo de 1 esse índice, mais eficiente o *Data Center*, se por exemplo, o custo com climatização for elevado, o PUE apresentará um valor mais alto que 1. O PUE pode ser calculado através da seguinte fórmula:

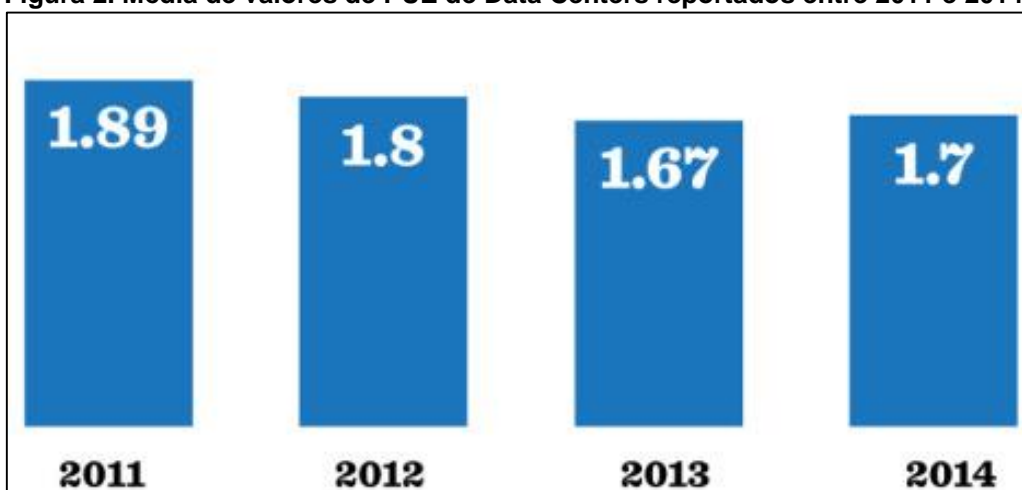
$$PUE = \frac{\text{Energia Consumida pelo Datacenter}}{\text{Energia Consumida pelos Equipamentos de TI}}$$

Outra forma de se representar essa relação é pelo *Data Center Infrastructure Efficiency* (DCIE), expresso como sendo o inverso do PUE. Ele dá uma noção do percentual de energia consumida pelos equipamentos de TI em relação ao *Data Center* como um todo. Diferentemente do PUE, o DCIE, nunca será maior que 1, porém, quanto mais próximos de 1 esse índice se ficar, mais eficiente energeticamente falando esse *Data Center* será. O DCIE pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$DCIE = \frac{1}{PUE}$$

A Figura 2, apresenta a evolução do PUE, segundo levantamento do Instituto Uptime. Observa-se nesse gráfico, a redução gradual desse índice. No trabalho realizado por Avgerinou, Bertoldi e Castellazzi (2017, p. 3), com as instalações participantes do programa *European Code of Conduct for Data Centre Energy Efficiency*, também se observa que a média do PUE vem reduzindo ano a ano.

Figura 2. Média de valores de PUE de Data Centers reportados entre 2011 e 2014



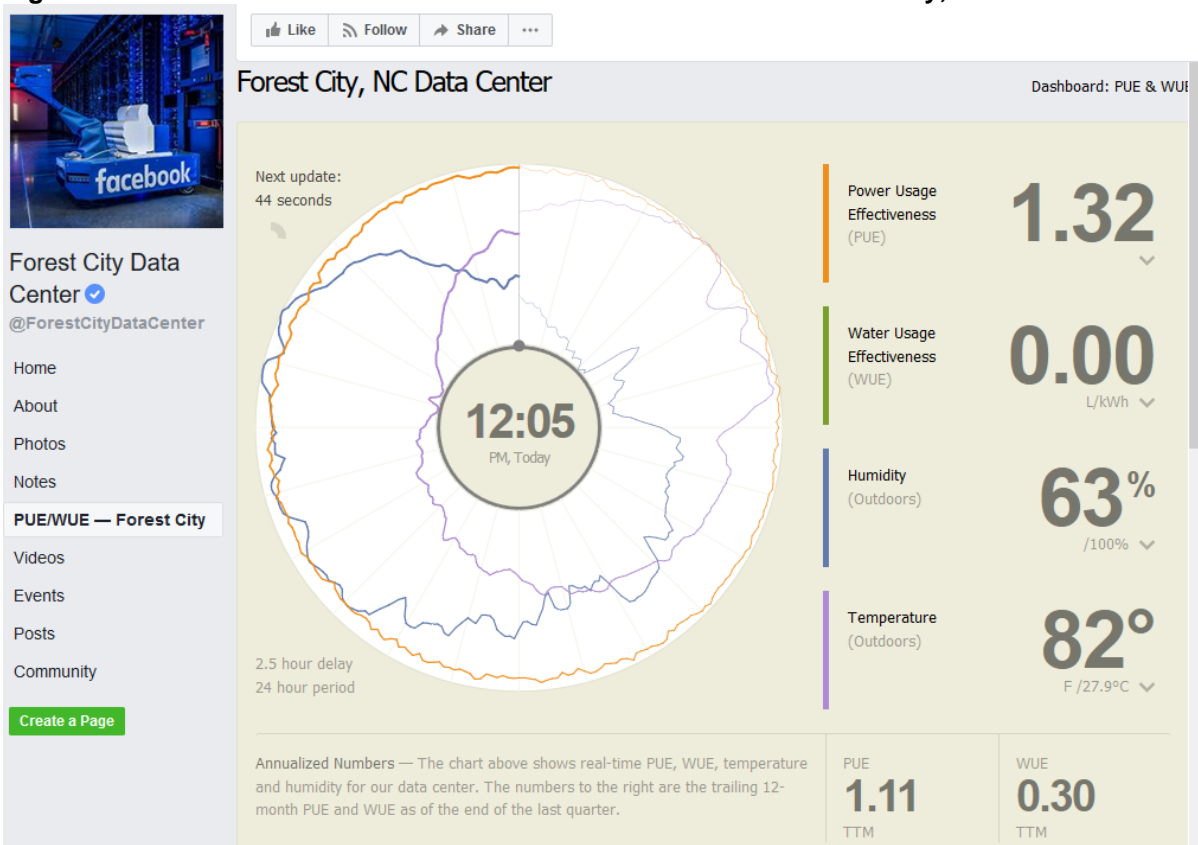
Fonte: Avgerinou, Bertoldi e Castellazzi (2017, p. 3).

O *The Green Grid* (TGG) é um consórcio global de empresas, agências governamentais e instituições educacionais dedicadas ao avanço da eficiência energética em *Data Centers* e ecossistemas de computação empresarial. O TGG é uma organização sem fins lucrativos

Para complementar a sua série de métricas apresentadas anteriormente, como a Eficiência no Uso de Energia (PUE[™]), Produtividade de Energia do *Data Center* (DCEP[™]), Eficácia de Reutilização de Energia (ERE[™]), *Data Center* Eficiência de Computação (DCCE[™]) e outras, o TGG propões duas métricas para abordar o uso da água e o comprometimento do uso do carbono em *Data Centers*. As métricas: Efetividade de Uso da Água (WUE[™]) e Efetividade de Uso de Carbono (CUE[™]) se somaram ao PUE permitindo que os operadores de *Data Centers* pudessem avaliar rapidamente os aspectos de sustentabilidade de água, energia e carbono, comparando os resultados, e determinando se alguma melhoria de eficiência energética ou sustentabilidade necessitava ser aplicada. A TGG pretendia estender a sua família de métricas xUE, uma vez que PUE recebeu ampla adoção no setor.

Em 2013 o Facebook, adotou a política de publicar um *dashboard* onde são exibidos em tempo real métricas de alguns de seus *Data Centers*. Entre as métricas exibidas tem-se o PUE e o WUE, além da umidade relativa do ar e da temperatura. Dessa forma os dados do *Data Center* podem ser acompanhados e a política de gestão de energia da companhia é apresentada de forma mais transparente. A Figura 3, apresenta uma das telas disponibilizadas pelo Facebook. Trata-se do *Data Center* da cidade de Forest City localizada no estado da Carolina do Norte. Observa-se na figura que o WUE, ainda não se encontra funcional nessa instalação

Figura 3. Dashboard do Data Center do facebook na cidade de Forest City, NC



Fonte: Autoria própria. Disponível em: <<https://www.facebook.com/ForestCityDataCenter/app/288655784601722/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

Além do *dashboard* de Forest City, o Facebook também disponibiliza a visualização dos indicadores em tempo real para as seguintes localidades:

- Na cidade de Lula na Suécia;
- Prineville no estado do Oregon;
- Altoona no estado de Iowa.

Segundo alguns relatórios a infraestrutura física, como por exemplo, o sistema de backup e distribuição de energia e os sistemas de refrigeração e ar condicionado, tende a responder por 40% a 50% da energia total consumida em um *Data Center* (PEDRAM, 2012, p. 1467). Novas técnicas de resfriamento e novas configurações de servidor e rack para *Data Centers* tem mitigado esse impacto.

3 MÉTRICAS E INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM DATA CENTERS

Conforme apresentado, o *The Green Grid* (TGG), desenvolveu ao longo do tempo uma série de indicadores para medir a eficiência energética em *Data Centers*. A primeira iniciativa se deu em 2007 com a criação do PUE e DCE. O DCE atualmente é chamado de DCIE.

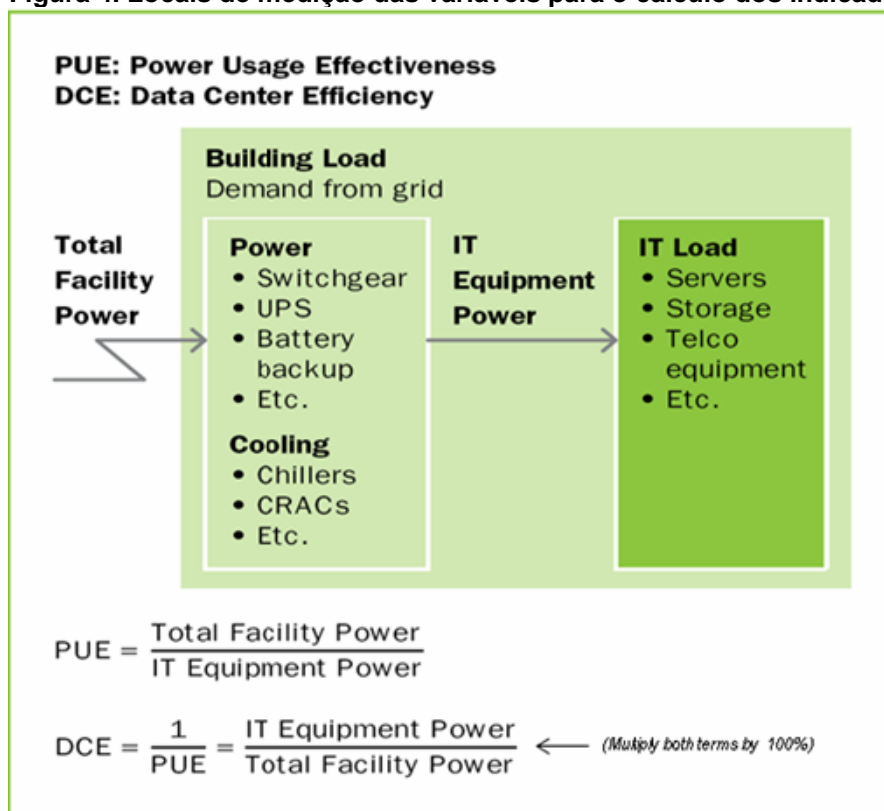
Alguns meses após o lançamento desses indicadores o TGG lançou um artigo, analisando a adoção desses indicadores e projetando cenários de curto e longo prazo para o efetivo monitoramento dos *Data Centers*. Essa análise concluiu que, em um primeiro momento o PUE teve melhor aceitação que o DCIE. O TGG creditou essa diferença na aceitação pelo fato de equívocos na interpretação do DCIE.

Primeiramente, mesmo sendo baseados em dados de fácil obtenção, como a energia medida no medidor da concessionária e a energia dedicada exclusivamente ao *Data Center*, o TGG dedicou-se nesse artigo a dirimir dúvidas sobre a obtenção dessas informações. Segundo Belady et al. (2007, p. 7) é importante entender os componentes para as cargas nas métricas, e isso pode ser descrito da seguinte forma:

1. Potência do equipamento de TI. Isso inclui a carga associada a todos os equipamentos de TI, como equipamentos de computação, armazenamento e rede, juntamente com equipamentos suplementares, como comutadores KVM, monitores e estações de trabalho/laptops usados para monitorar ou controlar o *Data Center*.
2. Potência total da instalação. Isso inclui tudo o que suporta a carga de equipamentos de TI, como:
 - Componentes de fornecimento de energia, como *no-break*, equipamentos de comutação, geradores, PDUs, baterias e perdas de distribuição externas ao equipamento de TI.
 - Componentes do sistema de resfriamento, como resfriadores, unidades de condicionamento de ar da sala de computadores (CRACs), unidades de tratamento de ar de expansão direta (DX), bombas e torres de resfriamento.
 - Nós de computação, rede e armazenamento.
 - Outras cargas de componentes diversos, como a iluminação do *Data Center*.

A Figura 4, mostra os locais de tomada das medições das variáveis. Em primeiro lugar, a energia total consumida pelo *Data Center* deve ser aferida no medidor da concessionária para refletir com precisão toda a energia que entra no sistema. Em ambientes de uso misto, é difícil determinar o uso de energia apenas do ambiente do *Data Center*. Isso deve ser considerado, uma vez que a energia não destinada a ser consumida no *Data Center* resultaria em falhas nas métricas de PUE e DCIE. Por exemplo, se um *Data Center* residir em um prédio de escritórios, a energia total obtida a partir do medidor será composta da energia necessárias para o *Data Center* e a energia total consumida pelos escritórios. Nesse caso, o administrador teria que medir ou estimar a quantidade de energia consumida pelos escritórios e isso acarretará erro nos cálculos do indicador.

Figura 4. Locais de medição das variáveis para o cálculo dos indicadores



Fonte: Belady (2007, p. 8).

O objetivo das métricas e dos processos estabelecidos na abordagem da sustentabilidade do *Data Center* é a de ajudar as organizações a determinar se um *Data Center* pode ser otimizado antes da implantação de um novo. Por esse motivo, o TGG introduziu a métrica da eficácia do uso de carbono (CUE) que aborda as emissões de carbono. Posteriormente apresentou também uma nova métrica de eficácia do uso da água (WUE) que abordar o uso da água nos *Data Centers*. Tanto

as emissões de carbono quanto o uso de água estão emergindo como considerações extremamente importantes no projeto, localização e operação dos novos *Data Centers*. A combinação desses indicadores: PUE, CUE e WUE permitiria aos operadores avaliarem rapidamente aspectos importantes de sustentabilidade em suas unidades, comparando os resultados e determinando se práticas de eficiência energética e de sustentabilidade seriam necessárias.

Após o sucesso da adoção do PUE, o TGG apresentou a sua segunda métrica do conjunto conhecido como Métricas de Sustentabilidade. Denominada CUE, essa métrica tinha como função trazer a questão da pegada de carbono, que estava em alta devido as discussões levantadas sobre o aquecimento global pelas COPs.

A WUE representa a terceira métrica, que agregada ao PUE e CUE, formam a família de métricas xUE, uma série de indicadores projetados para ajudar a comunidade de *Data Centers* na gerencia dos parâmetros de energia, ambientais, sociais e de sustentabilidade associados à construção, comissionamento, operação e desenvolvimento de *Data Centers*.

Tanto PUE, CUE e WUE usam o valor da energia consumida pelos equipamentos de TI no denominador da fórmula do indicador. O uso comum dessa informação tem como objetivo garantir que as métricas permaneçam interligadas acelerando a sua adoção.

Ao contrário de PUE que é adimensional, WUE e CUE apresentam dimensões; o WUE é expresso em litros/quilowatt hora e o CUE em quilos de dióxido de carbono/quilowatt hora. O intervalo de valores dos indicadores é outra diferença importante. PUE tem um valor ideal de 1.0, isso implica que toda a energia usada no *Data Center* vai para o equipamento de TI. Não existe um limite superior teórico para PUE, embora quanto mais alto o valor mais ineficiente o escritório será. O CUE e o WUE têm um valor ideal de 0, isso indica que nada de carbono ou de água está associado às operações do *Data Center*. CUE e WUE também não têm limite superior teórico, como PUE.

As três métricas cobrem as operações do *Data Center*, mas falham na cobertura da carga ambiental do ciclo de vida do *Data Center* e dos equipamentos de TI. Não é considerado o uso da água nem o gasto de carbono na construção do *Data Center* nem na fabricação do equipamento de TI pois isso tornaria a medida do WUE e do CUE muito difícil de se obter, calcular ou mesmo usar.

Uma alternativa no cálculo do CUE, é o uso do Fator de Emissão de Carbono – *Carbon Emission Factor* (CEF). O CEF é expresso em kgCO₂eq/kWh. O resultado é obtido pela fórmula abaixo:

$$CUE = CET \times PUE$$

Valores de CEF podem ser obtidos e documentos publicados por prestadores de serviços, governo e ONGs. Um exemplo dessas instituições é o *US Energy Information Administration*, eles fornecem dados detalhados de emissões de CO₂ e Gases de Efeito Estufa, os GHG, como: Oxido Nitroso (N₂O), Metano (CH₄), Clorofluorcarbonetos (CFCs), Hidrofluorcarbonetos (HFCs), Perfluorcarbonetos PFCs), além do próprio Dióxido de Carbono (CO₂).

O CEF, deve levar em consideração a composição da energia utilizada no *Data Center*. Uma vez que a energia consumida pode ser oriunda de diferentes fontes, cada uma delas com impacto diferente na pegada de carbono. Os cálculos dos indicadores são sempre realizados considerando o período de um ano.

Segundo Belady et al. (2010), CUE fornece uma maneira de determinar:

- Oportunidades para a melhoria da sustentabilidade de um *Data Center*;
- Formas de como um *Data Center* pode ser comparado a *Data Centers* semelhantes;
- Se efetivamente os gestores do *Data Center* estão aprimorando tanto os projetos como os processos ao longo do tempo;
- Oportunidades para a consideração do uso de fontes de energia renováveis;
- Compensações em estratégias de eficiência energética sob vários cenários de uso e condições operacionais.

Com base na documentação elaborada pelo TGG, que instituiu o CUE, uma série de questionamentos deverão ser abordados para o lançamento de novos artigos. A saber:

- Consolidação de um processo detalhado para determinação do CUE por parte dos *Data Centers*;
- Definição de critérios para medição de CUE para edifícios de uso misto;
- Definição de critérios para o cálculo do CUE para unidades que geram sua própria energia (por exemplo, a partir do uso de painéis solares);

- Aspectos do manejo da energia reutilizada ou recuperada para outros usuários no *Data Center*;
- Definição de critérios para a determinação do teor de CO₂ das mais diferentes formas de fontes de energia (gás, diesel, petróleo, etc.);
- Incorporação de práticas contábeis de carbono;
- Adoção de protocolos internacionais de carbono;
- Normatização de aspectos do ciclo de vida do carbono e da energia, incluindo questões sobre as emissões.

O consumo de energia do *Data Center*, as emissões de carbono e o uso de água estão afetando as decisões das empresas sobre crescimento, localização e estratégias de terceirização. No entanto, é importante que a indústria continue impulsionando o uso eficaz de recursos para maximizar a eficiência operacional e reduzir o impacto sobre os recursos e o meio ambiente. Com *Data Centers* mais sustentáveis, as organizações de TI podem gerenciar melhor as demandas crescentes de computação, rede e armazenamento e, ao mesmo tempo, reduzir seus custos de energia e reduzir o Custo Total de Propriedade – *Total Cost Ownership* (TCO) - enquanto se mantém competitivo e capaz de atender às necessidades futuras do negócio. O futuro apresenta riscos, especialmente quando se trata de tributação de carbono e custos e direitos da água. As organizações que se concentram proativamente nessas questões reduzirão seus riscos de negócios, aumentarão seu potencial de crescimento e gerenciando melhor seus custos ambientais (PATTERSON, 2011).

O uso de água associado ao *Data Center* é um tópico complexo em muitos níveis. Uma redução no uso da água pode ser realizada de várias maneiras. A maneira mais atraente é simplesmente empregar o design ideal, aumentar a eficiência operacional e ajustar os sistemas existentes.

Nem sempre a redução no uso da água em *Data Centers* é benéfica. Um aumento no uso de energia tem efeitos específicos no local, bem como na fonte que produz a energia. A redução do uso da água, pode acarretar em um custo adicional de energia. A troca da redução do consumo de água pelo aumento no consumo de energia elétrica pode parecer vantajosa, no entanto, se o objetivo é minimizar o uso da água em nível regional ou de bacia hidrográfica, essa mudança pode ter um impacto adverso que precisa ser considerado, principalmente se a obtenção da

eletricidade depender da água. Portanto, a redução do uso de água no *Data Center* pode aumentar o uso água necessário para a obtenção da eletricidade do *Data Center*.

Existem duas abordagens sugeridas pelo TGG sobre o WUE. Uma delas considera a água no próprio *Data Center* e a outra considera a água utilizada em todo o processo da produção da energia consumida pelos *Data Centers* além do próprio:

- WUE, é uma métrica baseada no local, que é baseada na medição da água usada no local para operação do *Data Center*. Isso inclui a água usada para umidificação e evaporação de água no local ou resfriamento do *Data Center* e seus sistemas de suporte.
- WUE_{source}, é uma métrica baseada na medição mais ampla da água utilizada nos processos, que inclui água usada no local e água utilizada fora do local na produção da energia usada no. Normalmente, essa metodologia apenas adiciona a água usada na geração de energia à água usada no local.

Uma abordagem alternativa para o cálculo do WUE_{SOURCE} é a utilização do Fator de Intensidade de Energia da Água – *Energy Water Intensity Factor* (EWIF), que assim como o CEF, pode ser utilizado simplificando a obtenção do indicador. O EWIF é expresso em (l/kWh).

$$WUE_{SOURCE} = [EWIF \times PUE] + \frac{\text{Água utilizada no local no período de um ano}}{\text{Energia Consumida pelos Equipamentos de TI}}$$

A Tabela 2, apresenta valores de referência por estado americano. Esses valores podem ser inseridos na fórmula para o cálculo do WUE_{SOURCE} para a obtenção de um resultado muito próximo do real.

Tabela 2. EWIF adotado pelo consumo de água por produção de energia por estado dos EUA (l/kWh)

Estado	EWIF	Estado	EWIF	Estado	EWIF
Alabama	0.53	Louisiana	5.91	Oklahoma	1.93
Alaska	1.17	Maine	1.10	Oregon	3.10
Arizona	1.21	Maryland	0.11	Pennsylvania	2.04
Arkansas	1.10	Massachusetts	0.00	Rhode Island	0.00
California	0.19	Michigan	1.89	South Carolina	0.98
Colorado	1.93	Minnesota	1.67	South Dakota	0.04
Connecticut	0.30	Mississippi	1.48	Tennessee	0.00
Delaware	0.04	Missouri	1.17	Texas	1.67
D.C.	6.09	Montana	3.63	Utah	2.16
Florida	0.53	Nebraska	0.72	Vermont	1.32
Georgia	2.27	Nevada	2.12	Virginia	0.26
Hawaii	0.15	New Hampshire	0.45	Washington	1.10
Idaho	0.00	New Jersey	0.26	West Virginia	2.23
Illinois	3.97	New Mexico	2.38	Wisconsin	1.85
Indiana	1.55	New York	3.22	Wyoming	1.85
Iowa	0.45	North Carolina	0.87		
Kansas	2.20	North Dakota	1.36		
Kentucky	4.16	Ohio	3.60		

Fonte: Patterson (2011, p. 12).

Espera-se que o WUE seja facilmente medido e informado em suas duas métricas. O TGG considera essa métrica, a mais simples para impulsionar a otimização do uso de água de um *Data Center*. Para tanto, isso pode ser feito por ações como:

- Redução do uso de energia em TI, reduzindo assim a demanda de resfriamento, conseqüentemente o consumo de água;
- Aferição do sistema de controle de umidade, certificando que o mesmo esteja otimizado e que o *Data Center* esteja funcionando na extremidade inferior das diretrizes recomendadas pela ASHRAE para umidade (ponto de condensação a 5,5° C);
- Otimização da operação das torres de resfriamento (caso sejam usadas) para o aumento dos ciclos de concentração;
- Implementação das estratégias adequadas de gerenciamento de fluxo de ar para melhoria da eficiência da refrigeração;

- Operação do *Data Center* no limite máximo de temperatura recomendado pela ASHRAE ou próximo a ele, pois isso (dependendo da planta de resfriamento), isso permitirá que a água resfriada atinja uma maior temperatura exigindo menos evaporação.

Em 2008 a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Condicionamento de Ar – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), uma instituição que aborda questões sobre refrigeração em sua norma TC 9.9 de 2008 apresenta uma evolução na abordagem da climatização de *Data Center*. A Tabela 3 apresenta uma comparação de dos valores permitidos na norma anterior de 2004 e da atual. Observasse que a norma atual, apresenta maior amplitude de temperaturas e de umidade relativa do ar para o *Data Center*, e que a tomada de decisão para a escolha da temperatura ideal para o *Data Center* deve considerar o ponto de condensação do ar, que tem correlação com a temperatura e a umidade relativa do ar. A Tabela 3, mostra a relação entre os parâmetros que norteavam a norma em 2004 e em 2008.

Tabela 3. Comparação dos valores para Data Center segundo a ASHRAE

	Versão 2004	Versão 2008
Temperatura Mínima	20 °C – 68 °F	18 °C – 64.4 °F
Temperatura Máxima	25 °C – 77 °F	27 °C – 80.6 °F
Umidade Relativa Mínima	40%	5.5 °C – 41.9 °F PC*
Umidade Relativa Máxima	55%	60% e 15 °C – 59 °F PC*

Fonte: Ashrae (2011, p. 5).

A ASHRAE classifica os ambientes de *Data Center* em 4 diferentes categorias. A abrangência de ambientes utilizada pela classificação da ASHRAE é maior que a praticada por outras instituições, como a TIA, considerando ambientes como pequenos servidores, até mesmo de uso pessoal.

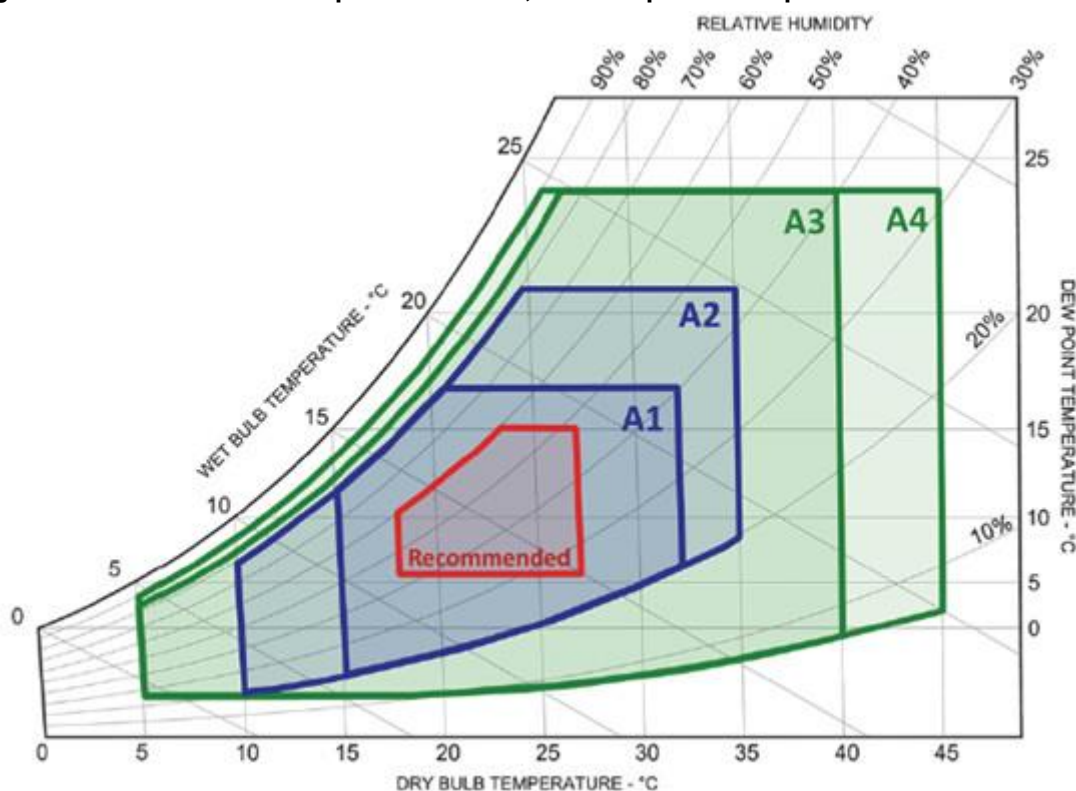
A definição das classes, apresentadas na Figura 5, é feita pela união ambientes em operação total e os diferentes níveis de controle sobre cada um deles (ASHRAE, 2011).

- Classe A1: Um ambiente de *Data Center* com um rígido controle dos parâmetros do ambiente (ponto de orvalho, temperatura, umidade relativa do ar) e em missão crítica de operação. Geralmente desenvolvidos para grandes

empresas com um grande número de racks (altos níveis de processamento de dados e armazenamento de informações).

- Classe A2: Geralmente um ambiente de produção tecnológica ou um escritório ou um laboratório com algum controle dos parâmetros ambientais. São ambientes que abrigam pequenos racks, podem ser servidores pessoais ou estações de trabalho.
- Classe A3/ Classe A4: Geralmente um ambiente de produção tecnológica ou um escritório ou um laboratório com algum controle dos parâmetros ambientais. São ambientes que abrigam pequenos racks, podem ser servidores pessoais ou estações de trabalho. Diferenciam-se do anterior pelo menor porte de seus equipamentos.

Figura 5. Gráfico das curvas psicrométricas, limites aplicados a partir de 2011



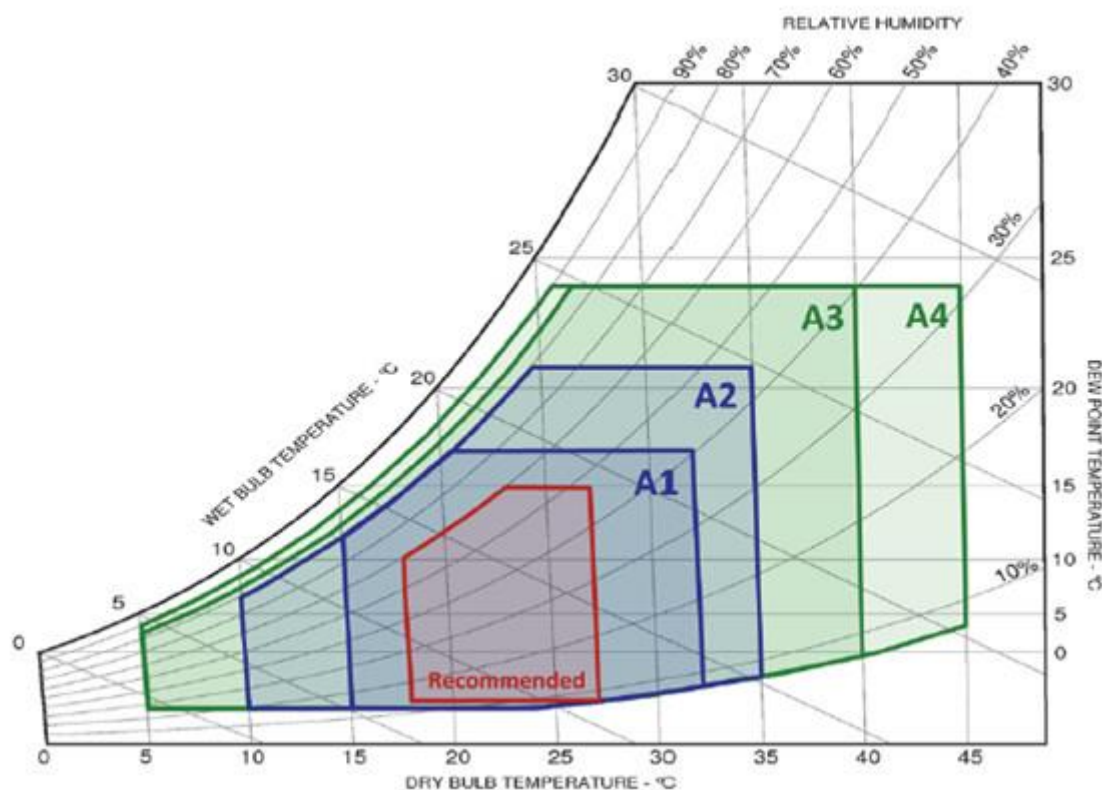
Fonte: Ashrae (2011, p. 9).

A classe A1, é aquela em que se concentra o objeto de estudo. Cada classe apresenta a carta psicrométrica descrevendo a área que cada classe deve habitar dentro do gráfico. Ainda na Figura 5, apresenta-se os limites referentes a cada classe dentro da carta psicrométrica, sendo que a área em vermelho é a recomendada.

Na Figura 6 é mostrado os limites considerados pela atualização da norma em 2015. Pode-se observar uma ampliação significativa nos parâmetros aceitáveis de

temperatura e umidade relativa do ar ASHRAE (2015). Tais variáveis são importantes, pois os servidores necessitam de condições ideais para um bom funcionamento. A exposição a altas temperaturas provoca um desgaste excessivo nos processadores, por isso devem ser evitadas. Por outro lado, baixas temperaturas também devem ser evitadas, ao diminuir indiscriminadamente a temperatura ambiente atinge-se o ponto de orvalho, acarretando a condensação do ar. Devido se tratar de um ambiente que envolve microeletrônica a humidade do ar deve ser refreada. Entretanto os valores de umidade não podem ser muito baixos, pois quanto menor a quantidade de água no ar, menor é a sua capacidade dielétrica. Expondo o *Data Center* a problemas de descargas de eletricidade estática.

Figura 6. Gráfico das curvas psicrométricas, limites aplicados a partir de 2015



Fonte: Ashire Book (2015).

4 CONCLUSÃO

Na prática, a expectativa da TGG é que seus indicadores sejam o mais facilmente obtidos. A busca por métricas de simples obtenção, que impulsionem e otimizem o uso da energia, do carbono e da água em um *Data Center*, tem sido o principal objetivo.

Pode-se imaginar um cenário futuro em que as decisões de localização, design, arquitetura e infraestrutura do *Data Center* incluam PUE, CUE e WUE como balizadores, e a análise da composição da energia e da água e dos recursos naturais envolvidos no projeto.

Compreensão do CO₂ como um dos gases de efeito estufa e a visão clara de como a energia elétrica do projeto possa ser expressa em kgCO₂/litro precisa ser considerado porque o próprio tratamento da água pode ser um processo que consome muita energia. No caso da água do mar, o processo de dessalinização consome muito mais energia do que a extração de água de um reservatório de neve derretida. O bombeamento e a entrega de água também são componentes importantes. No futuro, esses fatores podem ser incluídos em novas métricas do TGG. Deve se considerar também a temperatura da água utilizada nos processos de resfriamento, por exemplo. Conforme citado o caso do *Data Center* marítimo da Microsoft, que se beneficiará da temperatura das águas oceânicas para reduzir a necessidade do uso de energia elétrica.

O crescimento da demanda por energia elétrica por *Data Centers* deve ser avaliado com bastante atenção por parte dos governos e das organizações para que ele também possa se inserir nas agendas que avaliam os impactos dos gases de efeito estufa, e sua consequente interferência no meio ambiente, como os problemas ligados ao aquecimento global.

Além disso, a mudança na composição da matriz energética, partindo de cenários onde o consumo energético é centrado em fontes não renováveis, que apresenta muito impacto na pegada de carbono, para fontes renováveis, como eólica e solar. Observando que grande parte dos *Data Centers* ainda estão localizados em lugares onde a matriz energética apresenta forte presença de energia considerada suja.

Contudo o principal desafio é a criação de uma iniciativa que consiga agregar dados de diferentes empresas, de maneira a permitir uma consolidação de dados que tracem um panorama mais próximo a realidade. Por questões estratégicas *Data Centers*, via de regra, não disponibilizam seus dados sobre performance e eficiência. O painel disponibilizado pelo Facebook em tempo real, pode significar uma mudança de mentalidade. De tal forma a incentivar outras empresas a fazerem o mesmo, criando uma disputa por publicidade tendo como foco a eficiência.

Uma alternativa para o estímulo na prática da disponibilização de indicadores de sustentabilidade, seria a oferta de benefícios tarifários por parte das concessionárias do setor elétrico para empresas que se dispusessem gerar e disponibilizar seus indicadores para a criação de um grande banco de dados de performance energética. Esse tipo de prática, pode atrair o maior número de empresas possíveis num esforço de padronização, que pode atuar como indutor na adoção pelas demais organizações.

REFERÊNCIAS

AKSANLI, Baris; et al. **A comprehensive approach to reduce the energy cost of network of Data Centers**. 2013 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), jul. 2013, p. 275-280. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6754959/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

ANAN, Muhammad; NASSER, Nidal. **SLA-based optimization of energy efficiency for green cloud computing**. 2015 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), dez. 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7417712/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

ASHRAE. **2011 thermal guidelines for data processing environments – expanded Data Center classes and usage guidance**. Copyright© 2011, American Society of Heating. Disponível em: <https://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/ashrae_2011_thermal_guidelines_data_center.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.

ASHRAE BOOK. **Thermal Guidelines for Data Processing Environments**. 4. ed., 2015.

AVGERINOU, Maria; BERTOLDI, Paolo; CASTELLAZZI, Luca. (2017) **Trends in Data Center energy consumption under the european code of conduct for data centre energy efficiency**. Energies. 10. 1470. 10.3390/en10101470. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/322223249_Trends_in_data_centre_energy_consumption_under_the_European_Code_of_Conduct_for_data_centre_energy_efficiency>. Acesso em: 10 mar. 2018.

BELADY, Christian; et al. **Carbon usage effectiveness (cue): a green grid Data Center sustainability metric**. The Green Grid, dez. 2010. Disponível em: <<https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/241-Carbon-Usage-Effectiveness-%28CUE%29%3A-A-Green-Grid-Data-Center-Sustainability-Metric>> Acesso em: 10 mar. 2018.

BELADY, Christian; et al. **The green grid Data Center power efficiency metrics: PUE and DCiE**. The Green Grid, 2007. Disponível em: <http://www.premiersolutionsco.com/wp-content/uploads/TGG_Data_Center_Power_Efficiency_Metrics_PUE_and_DCiE.pdf> Acesso em: 10 mar. 2018.

BOHRA, Ata E. Husain; CHAUDHARY, Vipin. **VMETER: power modeling for virtualized clouds**. In: IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing, Workshops and Phd Forum (IPDPSW), Atlanta, GA, USA, 2010. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5470907/>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

COLES, Henry; ELLSWORTH, Michal; MARTINEZ, David J. **“Hot” for warm water cooling**. 2011 International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC), Seattle, WA, 2011. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/1051528>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

ELSAID, Mohamed Esam; MEINEL, Christoph. **Multiple virtual machines live migration performance modelling: vmware vmotion based study**. 2016 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), Berlin, 2016, p. 212-213. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7484186/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

FENG, Xiujie; et al. **A performance study of live VM migration technologies: VMotion vs XenMotion**. 2011 Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition (ACP), Shanghai, nov. 2011. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6210843/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

GIACOBBE, Maurizio; et al. **An approach to reduce energy costs through virtual machine migrations in cloud federation**. 2015 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC), Larnaca, 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7405609/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

GONZAGA, Yuri. **Toda empresa será de tecnologia no futuro, diz presidente da Microsoft**. Folha de São Paulo, 29 set. 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/tec/2015/09/1687952-toda-empresa-sera-de-tecnologia-no-futuro-diz-presidente-da-microsoft.shtml>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

HARMON, Robert H.; DAIM, Tugrul; RAFFO, David. **Roadmapping the future of sustainable IT**. PICMET 2010 TECHNOLOGY MANAGEMENT FOR GLOBAL ECONOMIC GROWTH, Phuket, 2010. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5603434/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

KESSACI, Yacine; MELAB, Nouredine; TALBI, El-Ghazali. **A pareto-based genetic algorithm for optimized assignment of VM requests on a cloud brokering environment**. 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Cancun, 2013, p. 2496-2503. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6557869/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

KOOMEY, Jonathan G. (2008) **Worldwide electricity use in Data Centers**. Environ. Res. Lett. 24983. 220-236. 10.1088/1748-9326/3/3/034008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228735976_Worldwide_electricity_use_in_data_centers>. Acesso em: 10 mar. 2018.

KOOMEY, Jonathan G. **Growth in Data Center electricity use 2005 to 2010**. A Report by Analytical Press, New York Times, ago. 2011. Disponível online em: <https://www.missioncriticalmagazine.com/ext/resources/MC/Home/Files/PDFs/Koomey_Data_Center.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2018.

KOVAR, Joseph F. **Data Center power consumption grows less than expected: report**. CRN, 10 ago. 2011. Disponível em: <<https://www.crn.com/news/data-center/231400014/data-center-power-consumption-grows-less-than-expected-report.htm>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

MARIN, Paulo Sérgio. **Data Centers: desvendando cada passo: projeto, infraestrutura física e eficiência energética**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2011.

MEIRA, Sílvio. Consumo de eletricidade dos data centers gera preocupação. Rádio **Rádio CBN: Bits da Noite**, Rio de Janeiro, RJ, 25 out. 2016. Programa de rádio.

PATTERSON, Michael; et al. **Water usage effectiveness (WUE™): a green grid Data Center sustainability metric**. The Green Grid, 2011. Disponível em: <<http://tmp2014.airatwork.com/wp-content/uploads/The-Green-Grid-White-Paper-35-WUE-Usage-Guidelines.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

PEDRAM, Massoud. **Energy-efficient Data Centers**. in IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, v. 31, n. 10, p. 1465-1484, out. 2012. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6303941/>>. Acesso em: 10 mar. 2018.