

## **O USO DA DINÂMICA DE SISTEMAS PARA AVALIAR O IMPACTO DA VIRTUALIZAÇÃO DE SERVIDORES NO CONSUMO DE ENERGIA E EMISSÃO DE GÁS CARBÔNICO DE UM DATACENTER**

UN HEE SCHIEFELBEIN

Universidade Federal de Santa Maria/Brasil  
peace.unhee@gmail.com

MILENE SANTOS TEXEIRA

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil  
milene.tsi@gmail.com

JUÇARA SALETE GUBIANI

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil  
jucara@ufsm.br

GIANA LUCCA KROTH

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil  
gilucca@gmail.com

MAURI LEODIR LOBLER

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil  
mllobler@gmail.com

### **RESUMO**

Resumo o avanço da ciência e da tecnologia promove transformações na indústria de bens e serviços e, por consequência modifica o comportamento das pessoas. Essa mudança iniciou final do século XX, quando as empresas buscavam se diferenciar uma das outras implementando padrões de qualidade para melhorar a competitividade de seus produtos e alavancar os negócios. Porém neste contexto, de busca pela eficiência comercial as empresas, começam a ser gerados resíduos, providos do descarte indevido de matérias, além do aumento das taxas de emissões de  $\text{CO}_2$  gerados a partir do consumo de energia, e a indústria de TI, nos últimos anos tem apresentado taxas preocupantes quanto a emissão de gases poluentes. Nesse sentido, esse trabalho apresenta, a partir de um modelo de simulação computacional, o impacto que a virtualização de servidores em um datacenter pode gerar no consumo de energia e na emissão de gás carbônico, utilizando como caso uma unidade de TI de uma universidade. Para a construção do modelo de simulação utilizou-se o software Vensim (Ventana Systems, 2015) e estipulou-se o período de 10 anos para acompanhar os resultados. Os resultados apontam taxas consideráveis quanto à diminuição no consumo de energia e como consequência a diminuição de gases que provocam o efeito estufa. A virtualização de servidores é apenas uma das inúmeras práticas de sustentabilidade que podem ser adotadas por empresas para a contribuição na proteção do planeta.

### **1. INTRODUÇÃO**

O avanço da ciência e da tecnologia promove transformações na indústria de bens e serviços e, por consequência modifica o comportamento das pessoas. Essa mudança iniciou

final do século XX, quando as empresas buscavam se diferenciar uma das outras implementando padrões de qualidade para melhorar a competitividade de seus produtos e alavancar os negócios. Porém neste contexto, de busca pela eficiência comercial das empresas, começam a ser gerados resíduos, providos do descarte indevido de matérias, além do aumento das taxas de emissões de  $\text{CO}_2$  gerados a partir do consumo de energia, e a indústria de TI, nos últimos anos tem apresentado taxas preocupantes quanto a emissão de gases poluentes.

É nesse contexto que a TI verde surge como uma alternativa sustentável, apresentando políticas e práticas que auxiliam na minimização de danos causados ao meio ambiente, provocados pelo uso intensivo da tecnologia da informação (SALLES; DOLCI; LUNARDI, 2013), considerando desde o descarte correto do lixo eletrônico e a utilização de matéria prima e substâncias menos tóxicas na fabricação dos equipamentos, até o consumo de energia e a emissão de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), principal agente do aquecimento global (JAYO; VALENTE, 2010).

De acordo com um estudo da consultoria Gartner de 2007, a quantidade de  $\text{CO}_2$  emitida pelos equipamentos de TI em todo mundo já é comparável com a quantidade emitida pela frota mundial de aviões, sendo que os datacenters são responsáveis por 23% da emissão de gases de toda TI, enquanto o uso de computadores e monitores atingem 40% (LUNARDI; FRIO; BRUM, 2011). Ainda, segundo Jayo e Valente (2010), apenas 25% das emissões são gerados na produção de computadores e demais equipamentos, enquanto os 75% restantes são resultantes da utilização dos mesmos. Dessa forma, questões relacionadas à sustentabilidade ambiental tornam-se cada vez mais importantes, tanto na pesquisa científica como na prática das organizações (DAO; LANGELLA; CARBO, 2011 apud SALLES; DOLCI; LUNARDI, 2013).

Paraíso, Soares e Almeida (2009) destacam que “a TI Verde é considerada uma importante força para atenuar o avanço do aquecimento global, porém o grande problema de transformar uma organização em verde seria o custo envolvido nessa mudança”. A adoção destas práticas verdes, tais como aquisição de novos equipamentos que tenham um consumo menor de energia, alterações no layout dos datacenters, digitalização de documentos, entre outras tantas, possuem um custo bastante elevado de implantação, o que acaba sendo uma barreira para os gestores, pois não há uma resposta concreta dos reais benefícios que elas podem trazer.

Apesar disto, Murugesan (2008), destaca que além da própria TI se tornar verde, ela pode dar suporte para outras iniciativas ambientais, através de ferramentas de apoio à decisão para analisar, modelar e simular o impacto e o risco ambiental. Nesse sentido, a simulação computacional desempenha um papel fundamental, pois permite demonstrar, através de modelos abstratos, os resultados reais que podem ser obtidos modificando-se algumas variáveis do processo.

Assim, o presente trabalho busca apresentar, a partir de um modelo de simulação computacional, o impacto que a virtualização de servidores pode gerar no consumo de energia e na emissão de gás carbônico, utilizando como caso uma Unidade de TI de uma

Universidade. Para a construção do modelo de simulação utilizou-se o software Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2015) e estipulou-se o período de 10 anos para acompanhar os resultados. As próximas seções descrevem o referencial teórico utilizado como base para a construção da pesquisa, a metodologia utilizada, os resultados encontrados e por fim as considerações finais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão apresentados os temas TI Verde, Virtualização de Servidores e Simulação Computacional, que se relacionam neste trabalho com o intuito de auxiliar o processo de tomada de decisão pela adoção ou não de práticas sustentáveis relacionadas ao uso da TI.

### 2.1. TI VERDE

A TI Verde pode ser encarada como uma nova visão que algumas empresas estão adotando, com o objetivo de minimizar os impactos da TI no meio ambiente. De forma mais abrangente, podemos citar:

A TI é parte do problema ambiental, e pode ser parte da solução. A TI Verde é um imperativo tanto econômico quanto ambiental. Tornar a TI mais verde é, e vai continuar sendo, uma necessidade e não uma opção. A TI Verde representa uma mudança dramática na indústria da TI. [...] Os desafios da TI Verde são enormes; no entanto, pesquisas recentes indicam que a indústria da TI tem a vontade e a convicção para enfrentar de frente os nossos problemas ambientais (MURUGESAN, 2008 tradução nossa).

Murugesan (2008) indica que, para compreender melhor o impacto da TI no ambiente, deve-se ter adotar uma abordagem holística e avaliar quatro momentos distintos: (a) o projeto da TI – projetando de forma mais econômica os computadores, servidores, periféricos, etc; (b) a fabricação da TI – de forma a agredir o mínimo possível o meio ambiente durante o processo de fabricação; (c) o uso da TI – reduzindo o consumo de energia na utilização dos computadores; e (d) o descarte da TI – reutilizando ou reciclando antigos computadores.

A redução do consumo de energia elétrica é o maior obstáculo dos projetos de TI verde, já que boa parte dos gastos em um ambiente tecnológico tem como fator principal a energia elétrica. Murugesan (2008) destaca técnicas simples que podem auxiliar neste processo, tais como: desligar os computadores quando não estiver em uso, habilitar o sistema de gerenciamento automático de energia dos PCs, usar protetores de tela pretos ao invés de figuras se movendo, entre outros.

Murugesan (2008) classifica as práticas de TI Verde com base na sua abrangência, definido três níveis de abordagem: (a) Incremental – medidas simples, de baixo ou nenhum custo, preservando a infraestrutura atual de TI e com retorno rápido; (b) Estratégica – são definidas políticas internas com o objetivo de diminuir os riscos ao meio ambiente e impacto de seus produtos; e (c) radical verde (Green IT) – mudanças totais em instalações, padronizações de processos. Já Lunardi, Frio e Salles (2011), classificaram as práticas em sete

categorias: (a) práticas de conscientização, (b) datacenter verde, (c) descarte e reciclagem, (d) fontes alternativas de energia, (e) hardware, (f) impressão e (g) software.

Dias et al (2013) definiu seis dimensões para análise da TI Verde: (a) Política e Conscientização ambiental, (b) Eficiência energética; Energias renováveis, (c) Infraestrutura de TI (Green Datacenters, Virtualização, Cloud Computing), (d) Infraestrutura física verde (Prédios verdes), (e) Lixo eletrônico, reutilização, reciclagem, Descarte, e (f) Seleção de fornecedores e Selos verdes. De formas mais sucinta e prática, Souza e Silva (2013) definiram quatro dimensões analíticas, que denominaram os 4 P's da TI Verde: (a) Postura Verde – Sustentabilidade, Gestão Sustentável, Leis, Normas e Diretrizes e Redução de Carbono, (b) Prática Verde – Racionalização de Energia, Racionalização de Insumos e Materiais e Gerenciamento de Insumos, (c) Política Verde – Aquisição, Substituição de Ativos e Descarte e (d) Produção Verde – Projeto, Fabricação e Tecnologia.

A partir de uma análise em outras duas publicações, Faria, Martins e Siqueira (2013) definiram sete formas de implantar ações verdes nas empresas: (a) Compra de hardware mais econômico em termos energéticos; (b) Consolidação e Virtualização; (c) Redução de temperatura nos Data Centers; (d) Uso de thin clients para reduzir uso de energia; (e) Reciclagem e descarte de equipamentos; (f) Economia no consumo de papel; (g) Conscientização de seus profissionais.

No caso das universidades, Dias et al (2013), identificou as práticas de TI Verde utilizadas são basicamente da abordagem incremental, segundo definição de Murugesan (2008). Os autores observaram a ausência de investimento em soluções de virtualização, como os datacenters verdes e a computação em nuvem (Cloud Computing), e concluíram que a disseminação de práticas de TI Verde na maior parte das Instituições de Ensino Superior do Brasil ainda é incipiente, e algumas práticas ainda se encontram apenas em fase de planejamento.

Segundo informações do site do SEBRAE (SEBRAE, 2015) e do relatado em Lunardi et al. (2011), as empresas que possuem a preocupação ambiental e adotam algumas práticas verdes possuem vantagens econômicas como facilidade de créditos e redução taxas e impostos por parte dos órgãos governamentais. Além disto, há uma melhor imagem frente à sociedade, impulsionando as ações de marketing para atrair aqueles consumidores que têm preferência por empresas responsáveis socialmente. Brown (2009, apud FARIA; MARTINS; SIQUEIRA, 2013) considera que, ao aplicar a TI Verde, a sociedade passa a ver a empresa diferenciada das demais, elevando seus status e colocando-a como referência entre as concorrentes, levando à confiança e preferência de seus clientes.

Boa parte das práticas de sustentabilidade pode ser adotada sem que a saúde financeira da organização seja comprometida, apenas dependendo do esforço e vontade dos funcionários, e do apoio e direcionamento da organização. As práticas ligadas aos datacenters e à substituição de equipamentos obsoletos são demandantes de altos investimentos, porém, aparecem como as práticas cujo retorno financeiro é o mais rápido e, por consequente, as mais impactantes na redução de custos da organização (LUNARDI; FRIO; SALLES, 2011).

De acordo com Cupertino (2009), a importância tanto para negócios quanto para toda sociedade faz com que a TI Verde ganhe cada vez mais espaço e destaque para a comunidade técnica (profissionais de TI) que, por meio de pesquisa e desenvolvimento, atuarão diretamente no sucesso e na inovação tecnológica que auxilie o desenvolvimento sustentável. No caso dos datacenters, além da adoção de tecnologias de refrigeração mais “limpas”, uma solução que tem se apresentado como promissora é a chamada virtualização de servidores.

## 2.2. VIRTUALIZAÇÃO DE SERVIDORES

Atualmente os datacenters são encontrados em quase todos os setores da economia, incluindo serviços financeiros, mídia, de alta tecnologia, universidades e instituições do governo, e devido ao rápido crescimento no tamanho desses centros de dados há um aumento contínuo da demanda tanto por infraestrutura física quanto por equipamentos de TI, resultando em aumento contínuo consumo de energia (UDDIN e RAHMAN, 2010).

A virtualização de servidores é uma técnica que permite rodar, simultaneamente, mais de um sistema operacional em um único equipamento físico, que diminui a capacidade de processamento ociosa em cada servidor e permite reduzir o tamanho (número de servidores físicos), e como consequência o consumo, dos datacenters. Embora essa inovação tenha sido desenvolvida originalmente para poupar custos com máquinas e espaço físico, ela se revelou vantajosa também para a economia de recursos naturais (UDDIN; RAHMAN, 2010).

Carissimi (2008), destaca algumas das vantagens de se utilizar virtualização em um ambiente de muita diversidade técnica:

“a virtualização pode auxiliar a se trabalhar em um ambiente onde haja uma diversidade de plataformas de software (sistemas operacionais) sem ter um aumento no número de plataformas de hardware (máquinas físicas). Assim a virtualização proporciona um alto grau de portabilidade e de flexibilidade permitindo que várias aplicações, de sistemas operacionais diferentes, executem em um mesmo hardware”.

Essa situação é conhecida como “consolidação de servidores” e é especialmente interessante em datacenters devido à heterogeneidade de plataformas inerente ao próprio negócio, e ao invés de utilizar vários equipamentos com seus respectivos sistemas operacionais, utiliza-se somente um computador com máquinas virtuais abrigando os vários sistemas operacionais e suas respectivas aplicações e serviços (LAUREANO, 2006). Além disso, em datacenters, a diminuição de máquinas físicas implica na redução de custos de infraestrutura física como espaço, energia elétrica, cabeamento, refrigeração, suporte e manutenção a vários sistemas (CARISSIMI, 2008).

Existem diversas ferramentas e técnicas para realizar a virtualização, porém, como este não é o foco deste estudo, estas não serão detalhadas aqui, mas para maiores detalhes pode-se consultar Laureano (2006) e Carissimi (2008).

## 2.3. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E A DINÂMICA DE SISTEMAS

A simulação computacional consiste na utilização de técnicas computacionais que, por meio de modelos, permitem simular o comportamento do sistema real de interesse e conduzir experimentos com o objetivo de entender o comportamento de um sistema ou avaliar sua operação (NETO; OLIVEIRA; ANDRADE, 2014). É o método que permite responder perguntas do tipo “o que aconteceria se ...?”, onde as entradas são conhecidas e manipuladas e as saídas são os resultados a serem observados, isto tudo com baixo custo e maior segurança e rapidez em relação as experimentações na realidade (PIDD, 1998). Porém, conforme Nascimento et al. (2014), simular um sistema complexo é de suma importância nos dias atuais como alternativa de tomada de decisão, e para isso necessita-se desenvolver um modelo que vise retratar a realidade da melhor forma possível.

Segundo Freitas Filho (2008), a simulação serve para efetuar análises do comportamento do sistema sob condições específicas, buscando o encaminhamento de uma solução a um dado problema. O autor destaca ainda que a simulação pode ser usada para prever o estado de um sistema em algum ponto no futuro, baseado nas suposições sobre seu comportamento atual e de como continuará se comportando ao longo do tempo e as razões mais comuns para experimentar-se com modelos simulados são: o sistema real ainda não existe; experimentar com o sistema real é muito caro ou leva muito tempo; experimentar com o sistema real não é apropriado.

Uma das técnicas utilizadas para a simulação computacional é a metodologia de System Dynamics (SD), ou dinâmica de sistemas, que foi desenvolvida durante a década de 1950 pelo engenheiro Jay Forrester, do Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) (FORRESTER, 1961) e cujo objetivo é, a partir de técnicas de modelagem para sua representação, conectar os recursos tangíveis e intangíveis, juntamente com as políticas de decisão, e verificar os seus impactos no comportamento do sistema ao longo do tempo (PIDD, 1998).

Por meio de diagramas de estoques (variáveis de estado, acumuladas), fluxos (variáveis de ação que alteram os estoques), auxiliares (definem as equações dos fluxos, modelam as informações) e conectores (representam as inter-relações entre todos os componentes do sistema), tal abordagem contempla a compreensão de fenômenos sistêmicos, relacionando a estrutura de um sistema com o seu comportamento ao longo do tempo, testando diferentes tipos de cenários a que o sistema real pode estar submetido, o que torna viável a identificação e avaliação de melhorias (PAPPEN; YONENAGA, 2014).

### 3. METODOLOGIA

A Pesquisa Operacional (PO) é composta por um conjunto de técnicas e ferramentas de apoio à tomada de decisão, através da modelagem matemática de fenômenos estáticos ou dinâmicos, e segundo Pidd (1998), a Dinâmica de Sistemas pode ser classificada como uma técnica de natureza interpretativa dentro da PO. Sendo assim, este estudo seguirá as fases descritas por Andrade (2011) como sendo as principais etapas que devem ser cumpridas num trabalho de Pesquisa Operacional:

(i) **Definição do problema:** Estudos exploratórios em artigos científicos e manuais de referência sobre as práticas de TI Verde, mais precisamente a virtualização, bem como entrevistas com dois técnicos responsáveis pela infraestrutura da Unidade de TI para a identificação das variáveis e restrições envolvidas, bem como a identificação do número de servidores físicos e virtuais que fazem parte do datacenter da instituição atualmente;

(ii) **Construção do modelo de equações:** Identificação das variáveis envolvidas e suas relações, definindo o modelo lógico que representa o comportamento do sistema real;

(iii) **Solução do modelo:** Implementação computacional da solução, utilizando-se o simulador Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2015) da área de System Dynamics, que permite avaliar o comportamento do sistema ao longo do tempo;

(iv) **Validação do modelo:** por meio da simulação de um experimento, utilizando-se dois cenários, que ao final do período de 10 anos, apresentem o mesmo número de servidores:

- a) **ATUAL:** cenário atual sem modificações nas taxas atuais de virtualização e de aquisição e descarte de servidores físicos.
- b) **VIRTUAL:** um cenário proposto com alteração nas taxas de virtualização e de aquisição de servidores físicos.

(v) **Implementação dos resultados:** nesta fase os dados foram apresentados para a unidade de TI, porém a implementação real das práticas fica fora do escopo deste trabalho por ser de competência da universidade.

#### 4. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E CONSTRUÇÃO E SOLUÇÃO DO MODELO

Depois das entrevistas com dois técnicos responsáveis pela infraestrutura de TI da instituição foi identificado que o datacenter atual é composto por 48 servidores físicos e 92 servidores virtuais, os quais permanecem ligados e refrigerados 24 horas, e com um gerador de energia que tem a função de garantir a disponibilidade dos serviços de TI mesmo com falha no fornecimento de energia. Porém, os técnicos não souberam precisar ao certo as taxas médias atuais de aquisição, descarte e virtualização dos equipamentos, e os valores informados são apenas valores estimados.

Ao final das entrevistas, chegou-se ao modelo de equações, descrito na Figura 1, que relata como ocorre o aumento no total de servidores e o consumo de energia e emissão de CO<sup>2</sup> pelo datacenter.

Figura 1: Modelo de equações da simulação desenvolvida

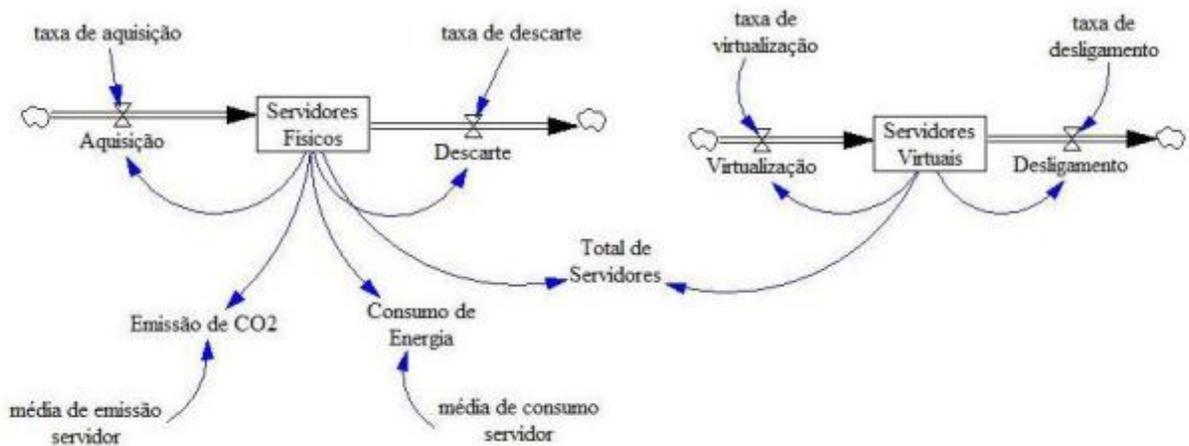
- |   |
|---|
| (1) Servidores Físicos (t) = Aquisição de Servidores Físicos(t) - Descarte de Servidores Físicos(t) |
| (2) Aquisição de Servidores(t) = Servidores Físicos(t)*Taxa de aquisição de servidores              |
| (3) Descarte de Servidores(t) = Servidores Físicos(t)*taxa de descarte dos servidores               |
| (4) Servidores Virtuais (t) = Virtualização(t) - Desligamento (t)                                   |
| (5) Virtualização(t) = Servidores Virtuais(t)*Taxa de virtualização                                 |
| (6) Desligamento (t) = Servidores Virtuais(t)*taxa de desligamento                                  |
| (7) Total de servidores(t) = Servidores Físicos + Servidores Virtuais                               |
| (8) Consumo de energia(t) = Servidores Físicos(t)*Média Consumo Servidor                            |
| (9) Emissão de CO <sup>2</sup> (t) = Servidores Físicos(t)*Média de Emissão Servidor                |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a definição do modelo lógico, partiu-se para a implementação do modelo de simulação no software Vensim (Ventana System, 2015), cujo resultado pode ser visualizado na figura 2.

[Capture a atenção do leitor com uma ótima citação do documento ou use este espaço para enfatizar um ponto-chave. Para colocar essa caixa de texto em qualquer lugar na página, basta arrastá-la.]

Figura 2 - Modelo de Simulação desenvolvido



Fonte: Elaborado pelos autores.

As variáveis de estoque envolvidas no modelo podem ser descritas da seguinte forma:

- **Servidores Físicos (servidores físicos):** calculado pelos fluxos de aquisição (Aquisição) e de descarte (Descarte), ou seja, utilizou-se a fórmula de aquisição de novos servidores físicos variando conforme uma taxa variável de aquisição (taxa de

aquisição) e uma taxa fixa de descarte (taxa de descarte), conforme pode ser visualizado nas equações 1, 2 e 3 do modelo matemático descrito na Figura 1. O total de servidores físicos afeta diretamente o cálculo do consumo de energia e da emissão de CO<sup>2</sup> pelos servidores (Consumo Servidores e Emissão Servidores), os quais também são influenciados pela média de consumo de energia do servidor (média de consumo servidor) e pela média de emissão de CO<sup>2</sup> pelo servidor (média de emissão servidor), conforme equações 8 e 9 do modelo.

- **Servidores Virtuais (servidores virtuais):** calculado pelos fluxos de virtualização (Virtualização) e de desligamento (Desligamento), ou seja, utilizou-se a fórmula de criação de novos servidores virtuais variando conforme uma taxa variável de virtualização (Taxa de virtualização) e a saída de servidores por taxa fixa de desligamento (Taxa de desligamento), conforme pode ser visualizado nas equações 4, 5 e 6 do modelo de equações descrito na Figura 1.
- **Total de Servidores (total de servidores):** calculado com base no resultado das equações anteriores (servidores físicos + servidores virtuais), conforme visualizado na equação 7 do modelo de equações.

## 5. VALIDAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO DO MODELO

Como forma de validar o modelo e de analisar o impacto gerado pelo aumento da virtualização de servidores utilizou-se da execução de dois cenários: o Atual onde as taxas de aquisição de novos servidores físicos e de virtualização de servidores sejam as estimadas pelos técnicos durante as entrevistas; e o cenário Virtual, onde há diminuição na taxa de aquisição de servidores físicos e acréscimo na taxa de virtualização.

Apesar de a universidade possuir um gerador de energia que tem condições de fornecer o total de energia consumido pela Unidade de TI, não foi possível a identificação pelos técnicos as médias de consumo dos servidores de forma isolada dos demais equipamentos eletrônicos, tais como PCs, monitores e os eletrodomésticos. Por essa razão, e por tratar-se apenas de uma simulação, as médias de consumo de energia e de emissão de CO<sup>2</sup> utilizadas foram retiradas de sites de referência da web. A média de consumo de energia foi calculada com base no site eHow (EHOW, 2015) e a média de emissão de CO<sup>2</sup> foi calculada segundo o site Iniciativa Verde (INICIATIVA VERDE, 2015), que disponibiliza uma calculadora onde é possível informar o número de Kw/h consumido e como resultado gera o total de CO<sup>2</sup> emitido em toneladas. A Tabela 1 destaca os valores que foram utilizados de forma constante nas simulações, não sendo modificadas entre um cenário e outro.

*Tabela 1: Taxas Fixas Utilizadas nas Simulações dos Cenários Propostos*

<b>Taxa</b>	<b>Valor</b>
Média anual de consumo de energia de um servidor	7,446 Gwatts/h por ano (média de 850 watts/h * 365 dias do ano * 24 horas ligado)
Média anual de emissão de CO <sup>2</sup>	4,32 toneladas de CO <sup>2</sup> por ano (considerando o consumo de 7446 kwatts/h).
Taxa anual de descarte de servidores físicos	1%
Taxa anual de desligamento de servidores virtuais	1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando que atualmente a proporção entre servidores virtuais e servidores físicos é de quase 2/1, e como forma de manter essa proporção ao longo dos anos, as taxas de aquisição e de virtualização foram ambas estimadas em 10% pelos técnicos, e esses valores foram os utilizados no cenário atual. Já para o cenário futuro, diminuiu-se a taxa de aquisição para 3% e aumentou-se a taxa de virtualização para 12,5%, como forma de obter o mesmo número de servidores no final dos 10 anos, porém com maior número de servidores virtuais. A Tabela 3 detalha os valores das taxas variáveis utilizadas no cenário atual e virtual.

As simulações partiram dos dados coletados no centro de TI, sendo 48 servidores físicos e 92 virtuais, totalizando 140 servidores ao total. Ao final dos 10 anos simulados, ambas tiveram acréscimo de 191 servidores, totalizando 331 servidores. No cenário Atual foram acrescentados 65 servidores físicos e 126 virtuais, enquanto que no cenário Virtual foram acrescentados 180 servidores virtuais e apenas 11 físicos. Os resultados desses cenários podem ser melhor visualizados na Tabela 2.

*Tabela 2 – Resultados das simulações*

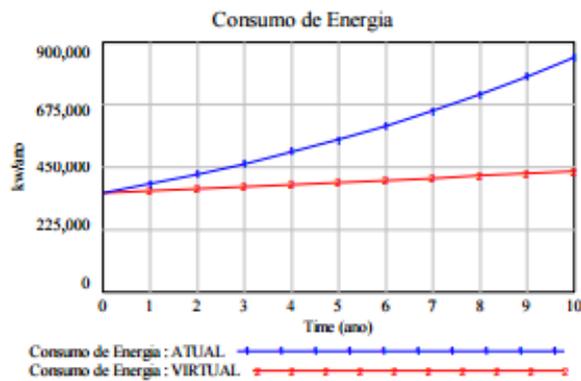
<b>Variáveis</b>	<b>Cenário Atual</b>		<b>Cenário Virtual</b>	
	<b>Ano 0</b>	<b>Ano 10</b>	<b>Ano 0</b>	<b>Ano 10</b>
Servidores Físicos	48	113	48	59
Servidores Virtuais	92	218	92	272
Total de Servidores	140	331	140	331
Consumo de Energia	357408 kw/ano	846115 Kw/ano	357408 kw/ano	435678 kw/ano
Emissão de CO <sup>2</sup>	207 ton/ano	491 ton/ano	207 ton/ano	253 ton/ano

Fonte: Elaborado pelos autores.

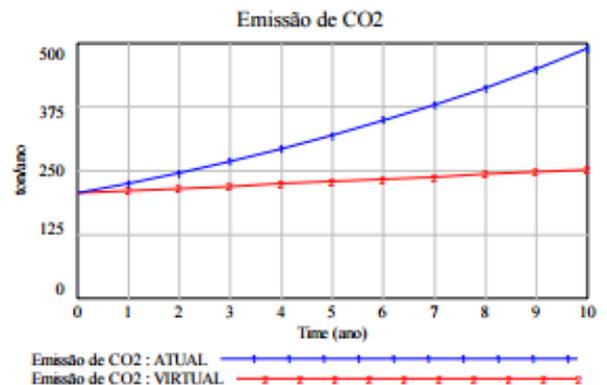
Como mencionado anteriormente, no cenário Atual a proporção entre servidores virtuais e físicos manteve-se em aproximadamente 2/1, já no cenário Virtual essa proporção passou a ser aproximadamente 4,5/1. Como o consumo de energia e a emissão de gás carbônico estão diretamente relacionados com o número de servidores físicos fica bastante claro que uma redução foi obtida. No experimento realizado, a redução no consumo de energia e, por consequência, na emissão de CO<sup>2</sup>, foi de aproximadamente 48,5%. Os

resultados obtidos podem ser visualizados na forma de gráficos, nas Figuras 3 e 4, referentes ao consumo de energia e à emissão de CO<sup>2</sup>, respectivamente.

**Figura 3 - Comparação do consumo de energia entre os cenários**



**Figura 4 - Comparação da emissão de CO<sup>2</sup> entre os cenários**



Fonte: Elaborado pelos autores.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma gestão eficiente dos recursos dos sistemas computacionais pode levar a uma redução significativa no custo das organizações. A indústria de TI aparece com um número preocupante quanto à taxa de emissão de CO<sup>2</sup>, mas se tratando de uma área onde já existe uma preocupação quanto a isso, algumas técnicas já foram desenvolvidas para gerenciar o melhor uso dos recursos.

A virtualização é apenas uma das inúmeras práticas de TI Verde que podem ser adotadas por empresas ou organizações, com este trabalho foi possível apresentar o processo de virtualização de servidores bem como seu benefício, que foi demonstrado por meio da simulação computacional, onde ao final dos 10 anos propostos, o datacenter continuou com o mesmo número de servidores, porém com a virtualização de alguns servidores reduziu cerca de 48,5% o consumo de energia e emissão de CO<sup>2</sup>, deixando evidente os benefícios da virtualização, tanto na redução de gastos da empresa quanto na redução de gases poluentes responsáveis pelo efeito estufa.

Como limitações do estudo pode-se incluir a não obtenção das taxas atuais reais de aquisição e virtualização dos servidores, e como estudos futuros sugere-se adicionar novas práticas verdes na simulação para verificar outros ganhos que podem ser obtidos.

## REFERÊNCIAS

Andrade, E. L. de. (4. ed) (2011), Introdução à Pesquisa Operacional : Métodos e modelos para a análise de decisão. Rio de Janeiro: LTC.

Brown, A. S. (2009), The many shades of green. Mechanical Engineering, v. 131, p.22–29.

Carissimi, A. S. (2008), Virtualização: da teoria a soluções. IN: SBRC2008 - Livro texto dos Minicursos. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), v. 1, p. 173-207.

Dao, V.; Langella, I.; Carbo, J. (2011), From green to sustainability: Information Technology and an integrated sustainability framework. Journal of Strategic Information System, v.20, p.63-79.

Dias, G.F., ET AL. (2013), Práticas organizacionais ambientalmente corretas relacionadas com a Tecnologia de Informação: um estudo qualitativo em universidades brasileiras bem ranqueadas. XXXVII EnAnpad.

EHOW (2015), Disponível em: . Acesso em: Abril. 2015.

Faria, A.C DE; Martins, M. DA S., Siqueira, L.D. (2013), TI Verde: Mito ou Realidade na Indústria Digital Brasileira. XXXVII EnAnpad.

Forrester, J. W. (1961), Industrial Dynamics. The MIT Press.

Freitas Filho, P. J. (2. ed) (2008), Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas. Florianópolis: Visual Books.

Iniciativa Verde (2015), disponível em: . Acesso em: Abril. 2015.

Jayo, M.; Valente, R. (2010), Por uma TI mais verde. GVexecutivo. vol.9 nº1 jan/jun.

Laureano, M., (2006), Máquinas Virtuais e Emuladores Conceitos, Técnicas e Aplicações. Editora NovaTec.

Lunardi, G.L.; Frio, R. S.; Brum, M. M. (2011), Tecnologia da Informação e Sustentabilidade: Um estudo sobre a disseminação das práticas de TI Verde nas organizações. XXXV Encontro da Anpad – EnAnpad.

Murugesan, S. (2008), Harnessing Green IT: Principles and Practices, IT Professional.

Nascimento, R.L. et al. (2014), Estudo de Modelagem e Simulação de uma Fila em uma Empresa Salineira. XXXIV ENEGEP.

Neto, H. G.; Oliveira, J. B.; ANDRADE, C. R. F. (2014), Modelagem e Simulação Computacional em uma Empresa de Confecção de Roupas: Um Estudo sobre o Desempenho de um Processo Produtivo. XXXIV ENEGEP.

Pappen, S.A.; Yonenaga, W.H. (2014), O Setor De Piscicultura No Mato Grosso: Uma Abordagem Pela Dinâmica De Sistemas. XXXIV ENEGEP.

Paraíso, M. R. A.; Soares, T. O. R.; Almeida, L. A. (2009), Desafios e práticas para a inserção da Tecnologia da Informação Verde nas empresas baianas: um estudo sobre a perspectiva dos profissionais de Tecnologia da Informação. RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental, v.3, n. 3, p. 85-101.

Salles, A. C.; Alves, A. P. F.; Dolci, D. B.; Lunardi, G. L. (2013), Adoção de Práticas de TI Verde nas Organizações: Um Estudo Baseado em Mini Casos. IV Encontro da Administração da Informação – EnADI.

SEBRAE (2015), TI Verde: Conceitos e Práticas. Disponível em: . Acesso em: Abr. 2015.

Souza, M. A. S.; Silva, D. N. (2013), Validação de um Instrumento para Avaliar a Utilização de Práticas da TIV. XXXIII ENEGEP.



Uddin, M.; Rahman, A.A. (2010), Server Consolidation: An Approach to Make Data Centers Energy Efficient & Green. International Journal of Scientific & Engineering Research, v 1, n 1, Out.

Pidd, M. (1998), Modelagem Empresarial: Ferramentas para Tomada de Decisão. Ed. Bookman.

Ventana Systems (2015), Vensim Simulation Software. Disponível em: . Acesso em: Março. 2015.