



Pós-Graduação em Ciência da Computação

**“UM FRAMEWORK DE MÉTRICAS DE  
PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM  
DATA CENTERS”**

**Por**

***MARCOS PORTO GOLDHAR***

**Dissertação de Mestrado Profissional**



Universidade Federal de Pernambuco  
posgraduacao@cin.ufpe.br  
www.cin.ufpe.br/~posgraduacao

RECIFE, OUTUBRO/2009



Universidade Federal de Pernambuco

CENTRO DE INFORMÁTICA

PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

***Marcos Porto Goldhar***

***“Um framework de métricas de produtividade e  
eficiência energética em data centers”***

Este trabalho foi apresentado à Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre Profissional em Ciência da Computação.

***ORIENTADOR: Prof.. Carlos André Guimarães Ferraz***

***RECIFE, OUTUBRO/2009***

**Goldhar, Marcos Porto**

**Um framework de métricas de produtividade e eficiência energética em data centers / Marcos Porto Goldhar. - Recife: O Autor, 2009.**

**x, 116 folhas : il., fig., tab., quadros**

**Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal de Pernambuco. Cln. Ciência da Computação, 2009.**

**Inclui bibliografia, anexos e apêndice .**

**1. Tecnologia da informação e ciência da computação. 2. Arquitetura de computador. I. Título.**

**004**

**CDD (22. ed.)**

**MEI2009 - 154**

Dissertação de Mestrado Profissional apresentada por **Marcos Porto Goldhar** à Pós-Graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, sob o título, **“Um Framework de Métricas de Produtividade e Eficiência Energética em Data Centers”**, orientada pelo **Professor Carlos André Guimarães Ferraz** e aprovada pela Banca Examinadora formada pelos professores:



Prof. Fernando da Fonseca de Souza  
Centro de Informática / UFPE

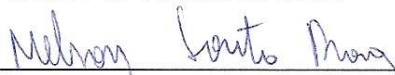


Prof.<sup>a</sup> Decio Fonseca  
Centro de Ciências Sociais Aplicadas/ UFPE



Prof. Carlos André Guimarães Ferraz  
Centro de Informática / UFPE

Visto e permitida a impressão.  
Recife, 30 de outubro de 2009.



**Prof. NELSON SOUTO ROSA**

Coordenador da Pós-Graduação em Ciência da Computação do  
Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

# Agradecimentos

Agradeço a Deus por todas as oportunidades que têm surgido em minha vida e por tudo que tenho alcançado, me dando saúde e perseverança para encarar os desafios enfrentados.

Aos meus pais, Sérgio e Ana, aos quais dedico este trabalho, pela constituição do meu caráter e por todos os ensinamentos de vida, sempre viabilizando a minha formação e regozijando-se com minhas vitórias como se fossem suas – e são.

À minha querida esposa Tatiane, pela aceitação dos momentos de ausência e pela sensibilidade e apoio nos momentos de dúvidas e desanimação, compartilhando todas as aflições e a ansiedade no processo de construção deste trabalho. Esta vitória também é sua.

Aos meus familiares e amigos em geral, pelo apoio constante e pela compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Carlos Ferraz, que soube exprimir a essência da palavra orientar, fornecendo sugestões e orientações de grande contribuição para o trabalho, mesmo diante das poucas oportunidades que tivemos de nos reunir em função da distância.

À empresa onde trabalho, pelo investimento realizado e por acreditar no meu potencial, especialmente aos meus amigos Pereira e Carlos Augusto, que tanto contribuíram para que eu tivesse esta oportunidade.

Aos meus colegas de trabalho, pelos debates que enriqueceram o trabalho e pela compreensão com as limitações e ausências provocadas pela minha dedicação ao curso.

Aos meus colegas do Mestrado Profissional, particularmente ao meu amigo Cassiano, companheiro nesta jornada de estudos, provas e trabalhos, sempre compartilhando as vitórias e as angústias inerentes a um processo de aprendizado como esse, assim como sua família, que sempre me acolheu com bastante carinho e amizade.

# Resumo

Originada da grande preocupação com os impactos econômicos e ambientais decorrentes da operacionalização dos serviços de tecnologia da informação, a TI Verde é baseada em iniciativas que buscam diminuir os efeitos nocivos deste setor, ao mesmo tempo em que conservam ou até incrementam os seus benefícios. Os gestores dessa área, por sua vez, necessitam de instrumentos que forneçam uma visão objetiva de onde e como podem ser otimizadas suas operações, sobretudo nas estruturas de *data centers*, considerados os grandes vilões no que se refere ao consumo de energia. Considerando que não há como gerenciar sem medir, as métricas surgem como elementos fundamentais para fornecer esta visão.

Neste contexto, a presente dissertação propõe a utilização de um *framework* de métricas relacionadas à produtividade e eficiência energética, composto tanto de métricas já consolidadas, desenvolvidas por respeitadas entidades como o *Green Grid* e o *Uptime Institute*, como também de indicadores desenvolvidos neste estudo. Os requisitos e implicações para determinar os resultados das métricas são abordados na apresentação de um caso prático realizado numa organização alinhada com a sustentabilidade ambiental em seus negócios.

Para melhor ilustrar como a utilização sistemática deste *framework* pode fornecer aos gestores uma perspectiva integrada de seus *data centers*, identificando onde os investimentos serão mais efetivos, esta dissertação traz ainda o protótipo de uma ferramenta de gestão baseada no *framework*, o qual demonstra como os resultados podem ser interpretados de forma a incrementar as atividades de gerenciamento.

**Palavras-chave:** TI Verde, Métricas, Eficiência Energética, *Data Centers*.

# Abstract

Rooted in the great concern about the environmental and economic impacts arising from the operation of services of information technology, Green IT is based on initiatives that seek to reduce the harmful effects of this sector, while saving or even enhancing its benefits. The IT managers, in turn, need tools that provide an objective view of where and how they can be optimized operations, especially in the structures of data centers, considered the biggest villains in relation to energy consumption. Whereas there is no way to manage without measuring, metrics emerge as key elements to provide this vision.

In this context, this dissertation proposes the use of a framework of metrics related to energy productivity and efficiency. It includes some notorious metrics, developed by respected organizations such as the Green Grid and the Uptime Institute, as well as indicators developed in this study. The requirements and implications for determining the results of the metrics are discussed in the presentation of a case study carried out in an organization aligned with environmental sustainability in its business.

To better illustrate how the systematic use of this framework can provide managers with an integrated view of their data centers, identifying where investment will be most effective, this work also presents a prototype of a management tool based on the framework, which demonstrates how the results can be interpreted to enhance management activities.

**Keywords:** Green IT, Metrics, Energy Efficiency, Data Centers.

# Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Motivação .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Estrutura da Dissertação .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Referencial Teórico .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 TI Verde .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Padrões e Diretivas Governamentais.....	8
2.1.2 TI para o Verde.....	9
2.1.3 Governança de TI Verde.....	10
2.1.4 Virtualização.....	11
2.1.5 Computação em Nuvem .....	12
<b>2.2 Produtividade e Eficiência Energética em <i>Data Centers</i>.....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Métricas de Produtividade e Eficiência .....	17
<b>2.3 Trabalhos Relacionados .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 <i>Green Grid</i> .....	19
2.3.2 <i>Uptime Institute</i> .....	23
2.3.3 SPEC.....	25
<b>2.4 Considerações Acerca das Métricas Existentes .....</b>	<b>27</b>
<b>3. Framework de Métricas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Fatores de Influência na Produtividade .....</b>	<b>30</b>
3.1.1 Eficiência da Infraestrutura .....	31
3.1.2 Eficiência dos Equipamentos de TI.....	32
3.1.3 Níveis de Utilização.....	33



<b>3.2</b>	<b>Métricas de Infraestrutura Física .....</b>	<b>34</b>
3.2.1	Efetividade da Energia Utilizada.....	35
3.2.2	Eficiência da Infraestrutura do <i>Data Center</i> .....	36
<b>3.3</b>	<b>Métricas de Servidores.....</b>	<b>36</b>
3.3.1	Produtividade do Ambiente de Servidores .....	37
3.3.2	Idade Ponderada de Servidores.....	42
3.3.3	Densidade Física de Servidores.....	43
3.3.4	Utilização Geral Ponderada de Servidores .....	44
3.3.5	Capacidade de Processamento por Usuário.....	44
<b>3.4</b>	<b>Métricas de Armazenamento.....</b>	<b>45</b>
3.4.1	Produtividade do Ambiente de Armazenamento.....	47
3.4.2	Idade Ponderada de Armazenamento .....	49
3.4.3	Densidade Física de Armazenamento .....	50
3.4.4	Utilização Geral de Armazenamento.....	51
3.4.5	Capacidade de Armazenamento por Usuário .....	51
<b>3.5</b>	<b>Considerações Acerca das Métricas Escolhidas .....</b>	<b>52</b>
<b>4.</b>	<b><i>Caso Prático de Aplicação do Framework de Métricas</i> .....</b>	<b>56</b>
<b>4.1</b>	<b>Descrição do Ambiente.....</b>	<b>57</b>
<b>4.2</b>	<b>Levantamento de Informações de Utilização e Consumo .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3</b>	<b>Obtenção dos Resultados das Métricas .....</b>	<b>68</b>
4.3.1	Efetividade da Energia Utilizada.....	68
4.3.2	Eficiência da Infraestrutura do <i>Data Center</i> .....	70
4.3.3	Produtividade do Ambiente de Servidores .....	71
4.3.4	Idade Ponderada de Servidores.....	74
4.3.5	Densidade Física de Servidores.....	76
4.3.6	Utilização Geral Ponderada de Servidores .....	77
4.3.7	Capacidade de Processamento por Usuário.....	79
4.3.8	Produtividade do Ambiente de Armazenamento.....	80

4.3.9	Idade Ponderada de Armazenamento .....	82
4.3.10	Densidade Física de Armazenamento .....	83
4.3.11	Utilização Geral de Armazenamento.....	84
4.3.12	Capacidade de Armazenamento por Usuário .....	86
<b>4.4</b>	<b>Considerações Acerca do Caso Prático .....</b>	<b>87</b>
<b>5.</b>	<b><i>Ferramenta de Gestão Baseada no Framework.....</i></b>	<b>89</b>
<b>5.1</b>	<b>Ambiente de Armazenamento .....</b>	<b>92</b>
<b>5.2</b>	<b>Ambiente de Infraestrutura.....</b>	<b>96</b>
<b>5.3</b>	<b>Ambiente de Servidores .....</b>	<b>99</b>
<b>5.4</b>	<b>Considerações Acerca da Ferramenta de Gestão .....</b>	<b>103</b>
<b>6.</b>	<b><i>Conclusão.....</i></b>	<b>104</b>
<b>6.1</b>	<b>Trabalhos Futuros .....</b>	<b>105</b>
	<b><i>Referências.....</i></b>	<b>107</b>
	<b><i>Apêndice A – Relação Expandida do Ambiente de Servidores .....</i></b>	<b>109</b>
	<b><i>Apêndice B – Scripts de Coleta de Contadores de Sistema Operacional.....</i></b>	<b>111</b>

# Lista de Quadros

Quadro 2.1 – Resumo das métricas existentes .....	28
Quadro 3.1 – Visão Geral das Métricas do <i>Framework</i> .....	53
Quadro 4.1 – Relação de servidores no <i>data center</i> .....	58
Quadro 4.2 – Relação de unidades de armazenamento no <i>data center</i> .....	59
Quadro 4.3 – Amostras da coleta de informações de utilização de potência .....	63
Quadro 4.4 – Distribuição da Utilização de Potência entre os Ambientes de TI .....	65
Quadro 4.5 – Amostras dos Registros de Utilização de Servidores .....	67

# Lista de Figuras

Figura 2.1: Razões para adoção de TI Verde (adaptado de Murugesan, 2008).....	7
Figura 3.1: Diagrama de causa e efeito de Ishikawa .....	31
Figura 3.2: Efeito do consumo interno da UPS na eficiência (adaptado de RASMUSSEN, 2006a) .....	32
Figura 3.3: Resultado do Dell PowerEdge R610 no SPECpower_ssj2008 (adaptado de SPEC, 2009) .....	33
Figura 3.4 – Relação entre infraestrutura física e produtividade nos ambientes.....	34
Figura 3.5 – Arquitetura das métricas do ambiente de servidores.....	37
Figura 3.6 – Arquitetura das métricas do ambiente de armazenamento.....	46
Figura 4.1 – Fluxo de informações no processo de determinação das métricas.....	56
Figura 4.2 – Diagrama de blocos da arquitetura elétrica do <i>data center</i> .....	60
Figura 4.3 – Distribuição da utilização de potência entre os ambientes de TI.....	66
Figura 4.4 – Distribuição da PUE ao longo do tempo.....	70
Figura 4.5 – Distribuição da PAS ao longo do tempo .....	73
Figura 4.6 – Resultado do IBM x3550 no SPECpower_ssj2008 (adaptado de SPEC, 2009).	79
Figura 5.1 – Tela inicial do SAIPE .....	90
Figura 5.2 – Tela de opções do SAIPE para os ambientes .....	91
Figura 5.3 – Comparativo da PAA para os diversos <i>data centers</i> .....	92
Figura 5.4 – Comparativo das métricas de armazenamento para os diversos <i>data centers</i> ....	93

Figura 5.5 – Evolução das métricas de armazenamento em DC1 nos últimos 6 meses.....	95
Figura 5.6 – Comparativo das métricas de infraestrutura para os diversos <i>data centers</i> .....	97
Figura 5.7 – Evolução das métricas de infraestrutura em DC1 nos últimos 12 meses.....	98
Figura 5.8 – Comparativo da PAS para os diversos <i>data centers</i> .....	99
Figura 5.9 – Comparativo das métricas de servidores para os diversos <i>data centers</i> .....	100
Figura 5.10 – Evolução das métricas de servidores em DC1 nos últimos 12 meses.....	101

# Principais Abreviaturas

<i>CAPU</i>	<i>Capacidade de Armazenamento Por Usuário</i>
<i>CPPU</i>	<i>Capacidade de Processamento Por Usuário</i>
<i>DCeP</i>	<i>Data Center energy Productivity</i>
<i>DCiE</i>	<i>Data Center infrastructure Efficiency</i>
<i>DFA</i>	<i>Densidade Física de Armazenamento</i>
<i>DFS</i>	<i>Densidade Física de Servidores</i>
<i>IPA</i>	<i>Idade Ponderada de Armazenamento</i>
<i>IPS</i>	<i>Idade Ponderada de Servidores</i>
<i>NAS</i>	<i>Network Attached Storage</i>
<i>PAA</i>	<i>Produtividade do Ambiente de Armazenamento</i>
<i>PAS</i>	<i>Produtividade do Ambiente de Servidores</i>
<i>PUE</i>	<i>Power Usage Effectiveness</i>
<i>ROHS</i>	<i>Restriction Of Hazardous Substances</i>
<i>SAN</i>	<i>Storage Area Network</i>
<i>SPEC</i>	<i>Standard Performance Evaluation Corporation</i>
<i>TI</i>	<i>Tecnologia da Informação</i>
<i>UGA</i>	<i>Utilização Geral de Armazenamento</i>
<i>UGPS</i>	<i>Utilização Geral Ponderada de Servidores</i>
<i>WEEE</i>	<i>Waste from Electrical and Electronic Equipment</i>

# 1. Introdução

O uso intensivo da Tecnologia da Informação (TI) nas últimas décadas tem trazido enormes benefícios para a humanidade, permitindo significativos avanços em diversas áreas científicas e facilitando a rápida disseminação de conhecimentos e informações. Estes avanços têm modificado sensivelmente o cotidiano das pessoas, que absorvem as novidades tecnológicas com a mesma voracidade com que necessitam estar bem informadas de maneira instantânea. O resultado disto foi a transformação da TI numa importante engrenagem do desenvolvimento econômico mundial.

Por outro lado, em tempos de grande preocupação com o aquecimento global e com a contribuição do comportamento humano para as aceleradas transformações climáticas, é inegável o papel do “lixo tecnológico” – seja ele proveniente da produção, operação ou descarte de dispositivos – como significativo agente poluidor. Diante disto, cada vez mais as áreas de Tecnologia da Informação se vêem questionadas sobre o impacto ambiental de suas atividades.

Em alguns casos, chega-se ao extremo de se traçar paralelos das condições ambientais antes e depois da “revolução tecnológica”, como se fosse possível encontrar um único culpado para a situação dramática em que se encontra o planeta. Ademais, responsabilizar exclusivamente o desenvolvimento tecnológico pelo atual cenário, além de inócuo, é injusto, afinal de contas não se teria a real percepção da urgência do problema sem o auxílio da tecnologia - e provavelmente não existirá solução que prescindia do seu uso.

De qualquer forma, é iminente a necessidade de uma profunda revisão nos pilares da Tecnologia da Informação, com o intuito de garantir uma atuação mais eficiente nos diversos processos produtivos, diminuindo radicalmente seus efeitos nocivos ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que se mantém como importante vetor de transformações positivas para a humanidade.

Neste sentido, ações estruturadas na área de TI que busquem soluções para o planeta, seja por meio de ideias que minimizem o impacto do homem sobre o meio ambiente, seja por maneiras de tornar a própria TI mais eficiente, se enquadram num novo conceito chamado TI Verde (*Green IT*), intimamente ligado à ideia de uma TI mais sustentável, que atenda às necessidades das gerações atuais sem comprometer sua capacidade para gerações futuras.

Além do forte apelo ambiental, projetos na área de TI Verde também podem representar ganhos significativos no aspecto econômico, um fator estratégico importante quando tanto se questiona o aumento dos custos neste setor. Uma amostra de como este tema já faz parte da estratégia de negócios das organizações é que, mesmo diante do cenário atual de crise econômica mundial, pesquisas recentes de institutos como Gartner Group e Forrester Research apontam que um percentual bastante significativo de empresas pretende investir em TI Verde nos próximos anos, conforme pode ser observado em Siggins & Murphy (2009).

## **1.1 Motivação**

No tocante às operações rotineiras da área de TI, chama a atenção o alto consumo de energia proveniente dos grandes centros de servidores, chamados *data centers*. Estes centros experimentaram nos últimos anos um crescimento exponencial em sua capacidade de processamento, aumentando significativamente também o consumo de energia, tanto para os servidores, como para a infraestrutura elétrica e de refrigeração. A relevância desta situação fica mais evidente quando se leva em consideração a predominância de combustíveis fósseis na formação da matriz energética da maioria dos países. No Brasil, a despeito de sua matriz energética ser em grande parte proveniente de usinas hidrelétricas, há que se levar em conta o impacto ambiental para a construção dessas usinas, além dos crescentes custos com a aquisição de energia, independentemente da matriz utilizada. Outrossim, vale lembrar que as repetidas crises de abastecimento no sistema hidrelétrico são geralmente minimizadas com o acréscimo de energia proveniente de usinas termelétricas, essas sim baseadas em combustíveis fósseis.



Neste contexto, é fundamental para as organizações contemporâneas encontrarem formas viáveis de gerenciar e mensurar como e por quem está sendo utilizada a energia consumida. Alguns institutos têm criado e desenvolvido métricas com o objetivo de avaliar a eficiência energética de *data centers*, dentre os quais se destacam o *Green Grid*<sup>1</sup> e o *Uptime Institute*<sup>2</sup>. Entretanto, apesar de sua grande importância, analisar a eficiência energética isoladamente pode não ser a melhor alternativa. Afinal de contas, um sistema, por mais eficiente que seja, caso seja mal utilizado, não estará atendendo a sua finalidade e será pouco produtivo. Diante disto, estes institutos têm buscado a definição de métricas que reflitam também a produtividade dos *data centers* em relação à energia utilizada, porém a subjetividade com que as métricas atuais avaliam o trabalho produzido dificultam bastante o cálculo da produtividade, além de diminuir consideravelmente a capacidade de comparação entre estruturas similares. O resultado disto é que estas novas métricas não têm alcançado a mesma adesão das métricas de eficiência.

## 1.2 Objetivos

Com o intuito de endereçar algumas destas lacunas, esta dissertação busca apresentar um *framework* que contemple métricas tanto de eficiência quanto de produtividade no tocante ao consumo de energia, assim como indicadores secundários que podem influenciar estes aspectos da utilização de energia. A produção do *framework* buscou estar sempre alinhada com a simplicidade e a objetividade na definição das métricas, de forma a facilitar a sua implantação e a criação de um processo de acompanhamento. Vale ressaltar ainda que este trabalho busca complementar – e não contradizer – os trabalhos já existentes.

---

<sup>1</sup> [www.thegreengrid.org](http://www.thegreengrid.org)

<sup>2</sup> [www.uptimeinstitute.org](http://www.uptimeinstitute.org)

### 1.3 Estrutura da Dissertação

Além deste capítulo introdutório, este documento é composto dos seguintes capítulos:

- O capítulo 2 apresenta o referencial teórico utilizado neste trabalho, abordando de forma geral os conceitos sobre TI Verde e aprofundando-se na questão da produtividade e eficiência energética, particularmente em estruturas de *data centers*. São apresentados ainda trabalhos relacionados ao desenvolvimento de métricas relacionadas à questão energética, além de considerações sobre as métricas existentes;
- O *framework* proposto é apresentado no capítulo 3, partindo de uma base bibliográfica para justificar os aspectos abordados, sendo seguida pela definição e descrição das métricas de cada um dos ambientes. Por fim, são realizadas considerações a respeito do que é proposto, abordando as vantagens e limitações do *framework*;
- O capítulo 4 apresenta um caso prático de utilização do *framework*, demonstrando como determinar os resultados das métricas propostas. O ambiente escolhido foi uma das unidades de uma grande organização, que possui vários *data centers* regionais. São realizadas ainda considerações sobre os requisitos necessários e as dificuldades encontradas neste processo;
- O capítulo 5 apresenta o protótipo de uma ferramenta de gestão baseada no *framework* proposto, demonstrando como a criação de um processo de acompanhamento das métricas pode subsidiar decisões gerenciais sobre que investimentos em equipamentos e infraestrutura poderiam ser mais efetivos sob a ótica da produtividade em relação ao consumo de energia; e
- O capítulo 6 apresenta as conclusões deste trabalho, incluindo também sugestões de trabalhos futuros e considerações finais.

## 2. Referencial Teórico

Partindo de uma extensa pesquisa bibliográfica, este capítulo apresenta o referencial teórico utilizado neste trabalho. Inicialmente, são abordados de forma geral os conceitos sobre TI Verde, incluindo as razões do surgimento e da elevada importância que este ramo tem alcançado, assim como processos e tecnologias emergentes relacionados a este tema. A seguir, aprofunda-se na questão da eficiência energética, particularmente em estruturas de *data centers*, considerados grandes consumidores de energia. Os trabalhos relacionados ao desenvolvimento de métricas pertinentes à questão energética são então apresentados, destacando-se aqueles desenvolvidos pelo *Green Grid*, pelo *Uptime Institute* e pelo SPEC (*Standard Performance Evaluation Corporation*). Ao final do capítulo, são apresentadas considerações sobre as métricas existentes.

### 2.1 TI Verde

Diante de uma conjuntura mundial de inquietação com as aceleradas transformações ambientais, é inevitável a preocupação com os efeitos da produção, utilização e descarte do crescente número de dispositivos computacionais agregados ao cotidiano das pessoas, sejam de uso próprio (computadores pessoais, celulares, *smartphones*, câmeras digitais, entre outros) ou atuando como infraestrutura para a prestação de serviços (servidores, *desktops*, elementos de comunicação, entre outros).

Inegavelmente, a disseminação da Tecnologia da Informação em diversas outras áreas tem trazido grandes benefícios e conveniência tanto no âmbito pessoal como profissional. Por outro lado, pressões ambientais, ampliação dos custos com energia e a provável escassez de matrizes energéticas convencionais passam a exigir das áreas de TI um comportamento alinhado com sustentabilidade e racionalidade na utilização de recursos naturais. Ações alinhadas com este comportamento eco-responsável se enquadram no conceito de TI Verde.

TI Verde se refere ao estudo de práticas para o desenvolvimento, produção, utilização e descarte de computadores, servidores e subsistemas associados (monitores, impressoras, armazenamento e rede/comunicação) de forma eficiente e efetiva com impacto mínimo para o meio ambiente, visando ainda à viabilidade econômica e à melhoria do desempenho de sistemas, obedecendo aos princípios da ética e responsabilidade social (MURUGESAN, 2008, p. 25, tradução nossa).

Para Lamb (2009), a TI Verde é “o estudo e a utilização prática de recursos computacionais de forma eficiente, sendo fundamentada num tripé composto pela viabilidade econômica, responsabilidade social e impacto ambiental”. Para ele, “TI Verde é o caminho ideal para a maioria das empresas no sentido de dar um passo significativo em direção à preservação ambiental”

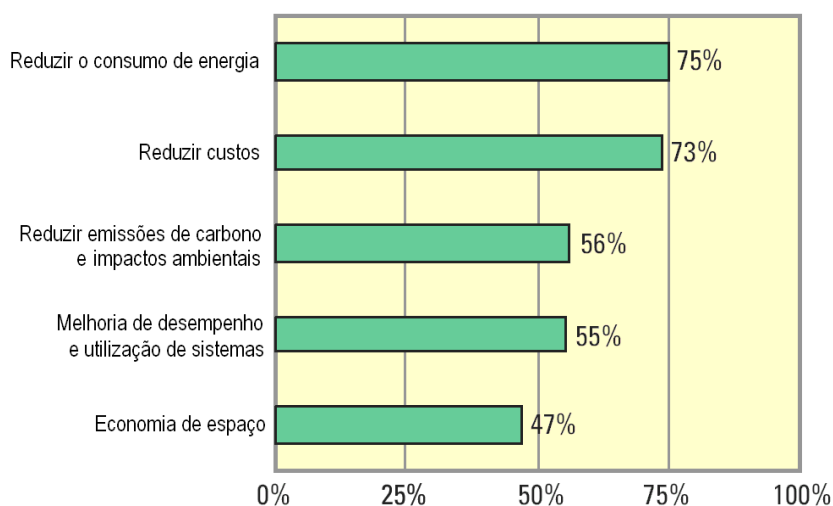
Vários são os números que demonstram como o uso pervasivo da tecnologia da informação tem produzido efeitos colaterais no meio ambiente. Aronson (2008) traz uma fórmula, proposta por Paul Ehrlich há quatro décadas, que busca quantificar este impacto a partir do produto de três variáveis: tamanho da população; consumo *per capita*; e impacto por unidade tecnológica vendida. Uma vez que a população mundial está em constante elevação e considerando que a produção de um simples computador pessoal utiliza cerca de duas toneladas de recursos naturais (dos quais 75% é água, recurso que tem se tornado cada vez mais precioso) e gera vários quilos de material poluente, sem contar a emissão de gases por seu uso e o lixo produzido pelo seu descarte, fica mais fácil perceber quão árduo é o papel da natureza em absorver este impacto.

Apesar do apelo social deste tema, ações efetivas relacionadas à responsabilidade ambiental ainda não podem ser consideradas algo comum no ambiente de TI. Lamb (2009) cita pesquisas que apontam que apesar de 25% dos líderes americanos estarem seriamente preocupados com eficiência energética e responsabilidade ambiental, somente 9% consideram que já adotam estratégias verdes.

Por outro lado, já há sinais da percepção da importância estratégica deste assunto para a imagem das empresas, principalmente aquelas socialmente engajadas. Algumas delas

têm criado programas “ecologicamente corretos”, tais como o Eco Solutions<sup>3</sup> (HP) e o Big Green<sup>4</sup> (IBM), entre outros. Para Murugesan (2008), este já é um tema em evidência hoje e continuará sendo importante nos próximos anos, beneficiando o meio ambiente através da melhoria de eficiência energética, diminuição da emissão de gases do efeito estufa, utilização de materiais menos nocivos e encorajamento ao reuso e reciclagem, por meio de projetos que envolvam uma ou mais das seguintes áreas:

- Gerenciamento de energia;
- Eficiência energética, sobretudo em *data centers*;
- Virtualização de servidores;
- Reciclagem e descarte responsável de equipamentos;
- Definição e uso de métricas “verdes”;
- Mitigação de riscos relacionados ao meio ambiente;
- Uso de energia de fontes renováveis; e
- Certificação de equipamentos e aplicações ecologicamente corretos.



**Figura 2.1: Razões para adoção de TI Verde (adaptado de Murugesan, 2008)**

---

<sup>3</sup> <http://www.hp.com/ecosolutions>

<sup>4</sup> <http://www-03.ibm.com/press/us/en/presskit/21440.wss>

A partir de uma pesquisa realizada pela Sun Microsystems com 758 empresas australianas e neozelandesas, Murugesan (2008) apresenta as principais razões pelas quais estas organizações consideram importante a adoção de práticas eco-responsáveis nas suas operações de TI (Figura 2.1).

A despeito das principais razões para a adoção de práticas eco-responsáveis ainda serem a redução no consumo de energia e diminuição dos custos, o importante é que o planeta – e em última instância os seus habitantes – se beneficiará dos resultados. Entretanto, uma vez que maior eficiência está intimamente ligada à redução de custos, há que se cuidar para que TI Verde não seja vista com uma aura milagrosa, como uma panacéia para os problemas ambientais e também econômicos. Como boa parte das novidades que são colocadas em evidência na área de TI, um grande número de informações está sendo disponibilizado sobre este tema, tornando bastante complexa a tarefa de separar o que é realidade do que é apenas *marketing*.

### **2.1.1 Padrões e Diretivas Governamentais**

Como não poderia deixar de ser, o crescimento descontrolado do consumo de recursos por parte dos *data centers* tem atraído cada vez mais a atenção de entidades governamentais regulamentadoras (SPAFFORD, 2008). Com isso, mesmo organizações que ainda não estejam estimuladas a investir em estratégias verdes pelos aspectos econômicos ou ambientais, fatalmente serão afetados por aspectos regulatórios.

Dentre as principais diretivas governamentais para a indústria de TI, destacam-se a RoHS<sup>5</sup> (*Restriction of Hazardous Substances*, Restrição de Substâncias Perigosas) e a WEEE<sup>6</sup> (*Waste from Electrical and Electronic Equipment*, Resíduos oriundos de Equipamentos Eletro-Eletrônicos), ambas criadas em 2007 pela União Européia. Enquanto a ROHS visa a restringir o uso de seis substâncias tóxicas – entre elas o chumbo e o mercúrio –

---

<sup>5</sup> <http://www.rohs.gov.uk>

<sup>6</sup> <http://www.environment-agency.gov.uk/weee>

no processo de fabricação de equipamentos, a WEEE trata da reciclagem de produtos eletrônicos, responsabilizando os fabricantes e fornecedores pelo descarte final de um produto, encarregando-os de recebê-lo de volta após o fim de seu ciclo de vida. Nos Estados Unidos, a despeito de ainda não existirem diretivas federais similares, foi aprovado no estado da Califórnia um programa chamado Waste Recycling Act (Lei de Reciclagem de Resíduos), que prevê a inclusão de “taxas de reciclagem” nos valores de venda dos equipamentos. Enquanto nos Estados Unidos a tendência é que outros estados americanos sigam o exemplo californiano, no âmbito global as diretivas européias devem se tornar padrões *de facto* (LAMB, 2009).

Segundo Ingle & Nebuloni (2008), existe uma clara tendência de maior regulamentação neste setor e os aspectos regulatórios serão de grande importância para o crescimento de iniciativas na área de TI verde. Logo, organizações que atualmente ainda não se sentem pressionadas a mudar de postura em função dos custos, serão compelidas a isto por força de regulamentos, sobretudo as grandes empresas e o setor público.

### **2.1.2 TI para o Verde**

Para Hird (2008), no tocante à sustentabilidade ambiental, a área de tecnologia da informação ocupa um papel ambivalente na organização em que se insere. Se por um lado tem se tornado uma grande preocupação pelo alto consumo de recursos naturais, seja em suas operações ou no processo de fabricação dos seus equipamentos, por outro lado esta área pode ser a fonte de soluções para amenizar o impacto ambiental de outras atividades da organização.

A nova geração de *software* de videoconferência, na medida em que permitem a redução no número de viagens para a realização de reuniões presenciais, é um excelente exemplo desse tipo de solução. As ferramentas de acesso remoto, por sua vez, têm possibilitado que funcionários executem as atividades profissionais a partir de suas residências, uma forma de trabalho que, a despeito de eventuais compensações na redução de consumo nos escritórios pela maior utilização nas residências, pode trazer benefícios

relevantes a partir da redução na demanda por transporte. Entre inúmeros outros exemplos de como a TI pode contribuir para estratégias verdes, estão sistemas que permitem reduzir a utilização de papel, otimizar a logística de transporte ou mesmo diminuir o desperdício no desenvolvimento de produtos por meio de sistemas de simulação que dispensam a construção de protótipos físicos para a realização de testes (HIRD, 2008).

### **2.1.3 Governança de TI Verde**

Com o intuito de sustentar as estratégias verdes da organização a que pertence, é muito importante que a área de TI implemente processos que garantam a proteção dos objetivos da empresa, que por sua vez deve estar bastante consciente de suas motivações em relação a este tema. Segundo Murugesan (2008), cada organização deve desenvolver uma estratégia de TI Verde holística e abrangente, que deveria estar contida e alinhada com uma estratégia organizacional de sustentabilidade, contando com a implementação de políticas verdes e a constante monitoração dos benefícios alcançados. Para tal, deve adotar uma ou uma combinação das seguintes abordagens:

- Abordagem tática incremental – busca atingir objetivos apenas moderados, geralmente relacionados ao consumo de energia, por meio de ações de baixo custo e fácil implementação, como o desligamento de equipamentos fora de uso, uso de lâmpadas mais eficientes, entre outras iniciativas;
- Abordagem estratégica – por meio de projetos mais elaborados, apoiados por uma devida estratégia de marketing, a empresa deve rever sua infraestrutura de TI sob uma perspectiva ambiental, buscando atingir objetivos mais amplos, que envolvam eficiência energética, políticas de reuso e de descarte de equipamentos, entre outros; e
- Abordagem profundamente verde – extrapolando as medidas previstas na abordagem anterior, este tipo de abordagem envolve a utilização de energias limpas (solar ou eólica, por exemplo), o plantio de árvores com o intuito de neutralizar suas emissões de carbono, além de campanhas de conscientização que levem à melhoria de hábitos dos funcionários também em suas casas.



Para evitar que boas intenções não se efetivem necessariamente em boas práticas, é aconselhável a criação de um “Comitê de TI Verde”, que teria o papel de apoiar a alta direção em seus objetivos ambientais, municiando-a com informações pertinentes e garantindo que as expectativas sejam plenamente atendidas. Como exemplo, um executivo de TI deve ser capaz de gerenciar de forma eficaz o consumo de energia e os seus custos associados. A formalização de um processo de TI Verde permite o correto entendimento das entradas, saídas, responsabilidades, métricas e fluxos de informações, entre outros, favorecendo uma melhoria contínua e melhor suporte à organização (SPAFFORD, 2008).

#### **2.1.4 Virtualização**

Nos últimos trinta anos, os *data centers* passaram por diversas transformações. Os mainframes foram substituídos por centenas de pequenos servidores, que foram distribuídos pelos departamentos das empresas. A seguir, por questões de segurança e de administração, esses servidores voltaram para dentro dos *data centers*, movimento facilitado pelo aprimoramento das tecnologias de comunicação em rede (LAMB, 2009). Hird (2008) lembra entretanto que, embora as constantes evoluções tenham propiciado equipamentos mais eficientes, ocupando proporcionalmente menos recursos (energia, espaço e refrigeração) em relação ao seu poder computacional, a demanda por mais servidores continua crescendo indefinidamente. Outro fato que torna ainda mais crítica a situação é que, como aponta Stanley et. al. (2007), para garantir a estabilidade, muitos servidores abrigam aplicações isoladamente, resultando em níveis de utilização inferiores a 25%.

A solução para este problema passa pela consolidação dos equipamentos, de forma que os recursos computacionais sejam mais efetivamente utilizados. A solução mais óbvia para esta consolidação seria transpor a barreira do isolamento das aplicações e fazê-las conviver num mesmo equipamento físico. Entretanto, a relação simbiótica das aplicações com os sistemas operacionais continuaram provocando instabilidades, dificultando esta convivência. Neste contexto, a virtualização surge como solução ideal, na medida em que um único equipamento é capaz de abrigar vários servidores virtuais, cada um com seu próprio

sistema operacional, nome e endereço, permitindo que instabilidades em um destes servidores virtuais não afetem as aplicações executadas nos demais.

Para Murugesan (2008), a virtualização é uma estratégia chave para reduzir o consumo de energia nos *data centers*, facilitando a consolidação da infraestrutura de servidores físicos por meio da disponibilização de vários servidores virtuais através de poucos servidores mais poderosos, permitindo com isso a utilização de menos espaço e eletricidade, além de garantir maiores níveis de utilização. Lamb (2009) segue a mesma linha, apontando a virtualização como uma das mais importantes iniciativas na criação de estratégias eco-eficientes, permitindo ainda a redução de custos com equipamentos e gerenciamento, além de fornecer maior flexibilidade ao ambiente de TI.

Além da economia de energia, espaço, refrigeração e conexões de rede, Hird (2008) aponta ainda outros benefícios da virtualização que podem ser percebidos pelos usuários, como a possibilidade de disponibilização de um servidor virtual num tempo razoavelmente menor do que um servidor físico, além de um melhor gerenciamento da necessidade de aquisição de novos servidores. Segundo Rasmussen (2006b), dependendo da tecnologia, a eliminação de um servidor representa uma diminuição na potência utilizada de aproximadamente 200 a 400 Watts.

### **2.1.5 Computação em Nuvem**

De forma semelhante à virtualização, esta nova tecnologia pode trazer resultados bastante significativos no tocante à eficiência energética, na medida em que incentiva fortemente o compartilhamento de recursos, possibilitando a redução de custos de aquisição, configuração e manutenção da infraestrutura de TI, que podem ser divididos entre um grande número de participantes. Baseada na ideia de que os recursos tecnológicos devem ser flutuantes e estarem disponíveis sempre que os usuários necessitarem, a computação em nuvem é o estilo de computação onde aplicações e funcionalidades de negócio são disponibilizadas como serviços e são acessadas através da Internet. O próprio termo nuvem

advém da terminologia gráfica que utiliza uma nuvem para representar a Internet (LAMB, 2009).

Para Lamb (2009), a computação em nuvem pode ser considerada um subconjunto da computação em *grid*<sup>7</sup>, que é definida como a computação distribuída em uma rede de recursos heterogêneos dispostos dentro de determinados limites e baseados em padrões abertos. Neste contexto, a arquitetura conceitual por trás da computação em nuvem é a existência de uma grande rede de servidores interconectados e em paralelo, atuando ao mesmo tempo e em conjunto para a solução de determinado problema. Porém, antes de chegar aos servidores em *grid*, outras camadas se fazem presente neste tipo de tecnologia. Uma interface deve permitir ao usuário escolher o serviço desejado a partir de um catálogo de serviços. A solicitação é encaminhada para o sistema de gerenciamento, que por sua vez deve encontrar os recursos necessários e efetuar chamadas aos serviços de provisionamento, que se utilizam dos recursos para disponibilizar as aplicações.

Os benefícios da aquisição de serviços de computação em nuvem providos por outras organizações ficam muito claros para pequenas e médias empresas, ou mesmo para consumidores individuais, na medida em que evitam custos fixos elevados no momento em que estas empresas ainda estão se estruturando e facilitam ainda a escalabilidade de suas operações quando estas começam a se desenvolver. Por outro lado, grandes empresas, além de conseguirem suportar melhor os custos de se manter esta infraestrutura, também são mais sensíveis às questões de segurança da informação inerentes à utilização da Internet e da eventual perda de controle sobre os seus dados. Para estes casos, entretanto, é possível se utilizar os conceitos da computação em nuvem mesmo dentro dos domínios de segurança (*firewalls*) destas grandes empresas, garantindo as vantagens do compartilhamento de recursos sugeridos por esta nova tecnologia. É a chamada “computação em nuvem privada”, visão que deve despertar o interesse das grandes organizações num futuro próximo (LAMB, 2009).

---

<sup>7</sup> <http://www.gridforum.org>

## 2.2 Produtividade e Eficiência Energética em *Data Centers*

Segundo Lamb (2009), *data centers* são estruturas compostas fundamentalmente pelos equipamentos eletrônicos responsáveis pelo processamento e armazenamento de dados, assim como os respectivos elementos de comunicação de rede e sistemas elétrico e de refrigeração. Impulsionados pela forte demanda por alta disponibilidade e aumento do poder de processamento, estas estruturas experimentaram nos últimos anos um crescimento vertiginoso tanto em tamanho como em número de servidores, consumindo com isto cada vez mais energia. Velte et. al. (2008) apresenta números que apontam um crescimento mundial no número de servidores de quase 100% em cinco anos, saindo de 14,1 milhões em 2000 para 27,3 milhões em 2005, sendo necessário o equivalente a 14 plantas de 1000 MegaWatts para alimentá-los. Para o ambiente de armazenamento, a realidade não é diferente. Segundo Behtash (2008), várias empresas enfrentam um crescimento anual em torno de 50% em suas áreas de armazenamento, fazendo com que este ambiente já seja responsável por quase 40% da energia consumida em um *data center* típico.

Em alguns casos, a energia consumida individualmente por alguns *data centers* é suficiente para suprir a demanda residencial de cidades inteiras. Rasmussen (2006a) traz números alarmantes, com estimativas de que os *data centers* ao redor do mundo apresentam um consumo anual absoluto em torno de 40 bilhões de KiloWatts-Hora. A situação se torna ainda mais crítica quando se leva em consideração que os servidores estão cada vez mais densos. Segundo Aronson (2008), os equipamentos atuais são de 20 a 50 vezes mais densos do que eram 50 anos atrás, quando ainda não eram capazes de impactar significativamente no consumo de energia.

Mantendo-se o ritmo atual, as perspectivas em relação ao consumo de energia são ainda mais preocupantes. Lamb (2009) indica pesquisas que apontam que em 2010, cada dólar gasto com a aquisição de equipamentos será acompanhado de uma despesa de 0,7 dólar com energia, enquanto já em 2012 será alcançada uma paridade entre estas despesas.

Uma boa justificativa para certa resiliência com que este assunto foi tratado até pouco tempo é o fato de que, em muitos casos, as despesas com energia não fazem parte do orçamento de TI, geralmente sendo incluídas num contexto mais amplo de uma conta de despesas administrativas do prédio onde o *data center* está inserido. No entanto, esta situação tende a mudar e estes custos serem mais explicitados.

Diante da disponibilidade limitada de energia oriunda de fontes não renováveis ou mesmo dos crescentes custos energéticos, mesmo em países onde as fontes são abundantes, estudos recentes de entidades governamentais e de mercado têm abordado o problema do aumento no consumo energético dos *data centers*, levando CIO (*Chief Information Officers*) a buscarem soluções alternativas para reduzir o impacto ambiental e os custos energéticos de suas operações, exigindo por conseguinte mecanismos que propiciem um maior controle, além de estabelecer relações entre a energia consumida e o trabalho realizado (THE GREEN GRID, 2008). Aronson (2008) conclui ainda que “toda empresa se beneficia ao considerar a eficiência energética em sua infraestrutura de TI, reduzindo tanto o custo total de propriedade quanto os impactos ambientais, ao mesmo tempo em que reforça seus objetivos de responsabilidade social”.

Outros autores corroboram com esta opinião. Segundo Velte et. al. (2008), o consumo de energia é um tema especialmente relevante para manutenção de sistemas verdes, uma vez que quanto mais energia é utilizada, mais dinheiro é gasto e maior a emissão de carbono, ressaltando ainda que o primeiro passo para mudar este cenário é saber quanta energia está sendo consumida. Murugesan (2008), por sua vez, além de explicitar algumas razões - como os crescentes custos operacionais e a escassez na disponibilidade de energia - para este cenário, sugere caminhos para melhorar a eficiência de *data centers*, tais como o uso de novos equipamentos mais eficientes, melhorias no gerenciamento do fluxo de ar para reduzir os requisitos de refrigeração e investimentos em *software* de gerenciamento de energia, entre outros.

Vale ressaltar, entretanto, que qualquer ação para melhorar eficiência energética não pode esquecer a razão de ser dos *data centers*, que é a disponibilidade de informações e a entrega de serviços confiáveis, conforme acordado com seus respectivos clientes, devendo

portanto manter ou até aumentar o desempenho e estabilidade do ambiente. Organizações que forem capazes de tomar ações efetivas neste sentido estarão em vantagem competitiva em relação às demais (STANLEY et. al., 2007).

Em linhas gerais, os equipamentos dedicados de um *data center* podem ser classificados em duas categorias: Equipamentos de TI, que incluem os dispositivos de armazenamento, os elementos de rede (*switches* e roteadores) e os servidores, responsáveis em última instância pelo produto a ser entregue aos clientes; e Equipamentos de Infraestrutura, que compreendem a infraestrutura elétrica para condicionamento e distribuição de energia (transformadores, *no-breaks*, quadros de distribuição, entre outros) e os equipamentos de refrigeração (*Computer Room Air Conditioners* – CRAC, torres de resfriamento, *chillers*, entre outros), que retiram do ambiente o calor gerado pelos equipamentos (THE GREEN GRID, 2008).

Qualquer irregularidade no projeto, manutenção ou operação desta infraestrutura de apoio tende a significar um desperdício direto de energia, sendo muitas vezes responsável também por maior geração de calor, o que por sua vez demandará mais refrigeração e consequentemente mais energia, gerando assim um dispendioso ciclo vicioso. Rasmussen (2006b) considera que “existe uma grande oportunidade para economizar energia aprimorando a eficiência energética da infraestrutura dentro do *data center*”.

Neste contexto, grandes empresas do setor têm unido forças com o objetivo de definir e propagar as melhores práticas de eficiência energética no projeto, na construção e na operação de *data centers*, provendo novas métricas e padrões tecnológicos (MURUGESAN, 2008). Desse esforço nasceu o *Green Grid*, instituto que tem produzido bastante conhecimento nesta área. O *Uptime Institute*, por sua vez, bastante conhecido por sua categorização de *data centers* em quatro níveis (*tiers*) de disponibilidade e tolerância a falhas, também tem trazido importantes contribuições para este tema, sobretudo na definição de métricas de eficiência.

### 2.2.1 Métricas de Produtividade e Eficiência

De maneira geral, as métricas são unidades de medida utilizadas para quantificar características importantes de um objeto, processo ou sistema, geralmente incluindo ainda um procedimento ou metodologia para realizar as medições. Uma vez que medir é fundamental para gerenciar ou aprimorar qualquer coisa, as métricas fornecem importantes subsídios para avaliar determinados aspectos de um sistema, permitindo ainda considerar o impacto de mudanças e também comparar elementos que sejam quantificados utilizando a mesma metodologia. No caso específico, as métricas podem ser utilizadas para verificar se um *data center* – ou determinado equipamento dentro dele – está configurado e sendo operado de maneira adequada sob a ótica da eficiência energética (THE GREEN GRID, 2008).

Uma visão clara sobre a situação atual e também sobre evoluções históricas permite um gerenciamento proativo dos *data centers*, na medida em que estas informações facilitam a predição de demandas e o planejamento para dimensionar necessidades futuras de clientes. As métricas podem incluir informações sobre desempenho, disponibilidade, capacidade e consumo para servidores, unidades de armazenamento, elementos de rede e infraestrutura, de acordo com os níveis de serviço e de custos acordados. Elas fornecem uma percepção sobre o que está ocorrendo, como os recursos estão sendo utilizados e a eficiência e qualidade dos serviços (SHULZ, 2009).

Rivoire et. al. (2007) aponta que as métricas de eficiência e produtividade computacional em relação à energia consumida podem ser desenvolvidas para avaliar diferentes escopos, estimulando os desenvolvedores em diferentes níveis. Cada uma destas métricas são úteis para avaliar a eficiência em contextos específicos, desde o nível dos processadores, servidores ou mesmo de *data centers* de forma global.

Stanley et. al. (2007) aponta características importantes para considerar a eficácia de uma métrica. Para ele, uma métrica deve ser:

- Intuitiva, deixando claro se a variação para cima ou para baixo é positiva ou negativa;
- Precisa, de forma que variações significativas sejam percebidas;

- Suficientemente granular, permitindo identificar os elementos que exercem maior influência no resultado;
- Simples de utilizar;
- Versátil, podendo ser utilizada para medir vários tipos de *hardware* (servidores, armazenamento, elementos de rede);
- Adaptável ao surgimento de novas tecnologias;
- Sem ambiguidades; e
- Independente de fornecedor ou fabricante.

Antes de apresentar as principais métricas relacionadas à eficiência de *data centers*, um aspecto importante a ser esclarecido é a diferença entre energia e potência. A energia é medida em unidades chamadas KWh (KiloWatts hora), que significa a entrega de 1000 Watts (1 KW) durante o período de 1 hora. A energia se refere portanto à quantidade de recursos consumidos em determinado período para alimentar o *data center*. Já a potência, normalmente medida em KW (KiloWatts), é uma medida instantânea que representa o consumo num exato momento. Para evitar sobrecargas, o porte da infraestrutura elétrica e de refrigeração deve ser calculado a partir do pico de potência a ser utilizado (STANLEY et. al., 2007).

Uma vez que as métricas utilizadas neste trabalho trabalharão com médias obtidas a partir de um número considerável de amostras de potência instantânea, seus resultados são os mesmos tanto para potência quanto para energia, sendo os termos algumas vezes tratados alternativamente no texto.

Outra questão importante é a diferença entre eficiência e produtividade sob a ótica de um *data center*. Para Rasmussen (2006a), a eficiência de um dispositivo ou sistema é a fração de um recurso de entrada (eletricidade ou combustível, por exemplo) que é efetivamente utilizada para executar a sua finalidade principal. Embora fortemente relacionadas, enquanto a eficiência visa à diminuição dos custos por meio da redução do desperdício dos recursos utilizados para o processamento das informações, a produtividade leva em consideração ainda a maximização do trabalho realizado mediante a quantidade de recursos consumidos (THE GREEN GRID, 2008).



## 2.3 Trabalhos Relacionados

Alinhados com esta demanda por elementos que forneçam uma visão de quanto e como os *data centers* estão aproveitando a energia utilizada, organizações de notório reconhecimento têm desenvolvido e divulgado várias métricas relacionadas ao tema desta dissertação. A partir de um amplo levantamento bibliográfico, neste tópico serão apresentadas as principais métricas elaboradas por três institutos (*Green Grid*, *Uptime Institute* e *SPEC*) para medir eficiência e produtividade elétrica em *data centers*.

### 2.3.1 *Green Grid*

Fundado em 2007, o *Green Grid*<sup>8</sup> é uma entidade sem fins lucrativos, formada por um consórcio global de profissionais e empresas de TI comprometidos em reduzir os impactos ambientais e econômicos provocados pelo crescimento acelerado dos *data centers*. Apesar de ter em seus quadros de associados grandes empresas mundiais, como EMC<sup>9</sup>, AMD<sup>10</sup>, Intel<sup>11</sup>, Microsoft<sup>12</sup>, Google<sup>13</sup>, HP<sup>14</sup>, IBM<sup>15</sup> e SUN<sup>16</sup>, entre outros, o *Green Grid* não endossa nenhuma solução ou produto específico, mas busca concentrar os esforços da indústria global para padronizar um conjunto de métricas e processos pertinentes, recomendando melhores práticas e novas tecnologias projetadas para aprimorar a eficiência e a produtividade energética de estruturas de *data centers* (THE GREEN GRID, 2007a).

---

<sup>8</sup> [www.thegreengrid.org](http://www.thegreengrid.org)

<sup>9</sup> [www.emc.com](http://www.emc.com)

<sup>10</sup> [www.amd.com](http://www.amd.com)

<sup>11</sup> [www.intel.com](http://www.intel.com)

<sup>12</sup> [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com)

<sup>13</sup> [www.google.com](http://www.google.com)

<sup>14</sup> [www.hp.com](http://www.hp.com)

<sup>15</sup> [www.ibm.com](http://www.ibm.com)

<sup>16</sup> [www.sun.com](http://www.sun.com)

Murugesan (2008) também reafirma a importância deste instituto na definição e disseminação de boas práticas que tornem mais eficientes o projeto, a construção e a operação de *data centers*, ressaltando que a adoção pela indústria de um conjunto padrão de métricas facilitará o gerenciamento da infraestrutura e dos equipamentos de TI, propiciando que sejam alcançados níveis de excelência na eficiência energética. A seguir, serão apresentadas as principais métricas desenvolvidas por este instituto.

### **PUE (*Power Usage Effectiveness*)**

Esta métrica avalia a efetividade da potência utilizada, a partir da relação entre a potência total utilizada pelo *data center* e a potência efetivamente entregue aos equipamentos de TI, estimando assim a fatia que está sendo utilizada para tarefas de suporte, como o condicionamento de energia e a retirada do calor dissipado no ambiente pelos equipamentos de TI. Logo, partindo de 1 (um) como sendo o hipotético melhor caso, quanto maior o seu valor, pior a eficiência elétrica do *data center* (THE GREEN GRID, 2007b).

O resultado da PUE pode, portanto, ser utilizado com um multiplicador para calcular o real impacto da demanda de energia de um sistema, determinando o número de KW necessários no medidor de entrada para se entregar – de forma confiável – 1KW a um equipamento de TI. Por exemplo, se um servidor precisa de 500W e a PUE do *data center* que o abriga é 3, são necessários 1,5KW no medidor de entrada (THE GREEN GRID, 2007a).

### **DCiE (*Data Center infrastructure Efficiency*)**

A DCiE é a recíproca da PUE, ou seja, determina a eficiência da infraestrutura do *data center* em um intervalo que varia de 0 (zero) a 1 (um), oferecendo assim uma representação percentual, onde quanto maior o valor, melhor a eficiência energética (THE GREEN GRID, 2007b).

Inicialmente chamada de DCE, esta métrica não experimentou o mesmo sucesso da sua recíproca, provavelmente em função de uma ideia errada sobre o que a eficiência de

um *data center* realmente significa. Para evitar confusões, foi então rebatizada como DCiE, tornando mais clara a referência à infraestrutura (THE GREEN GRID, 2007a).

Juntamente com a PUE, a aplicação da DCiE pode fornecer oportunidades de melhoria da eficiência operacional da infraestrutura de um *data center*, na medida em que permite a comparação entre estruturas similares, assim como a evolução de uma mesma estrutura ao longo do tempo ou mediante modificações de processos ou equipamentos (VERDUN, 2008). Entretanto, para se obter valores confiáveis e significativos para estas métricas, a entidade responsável recomenda uma monitoração automática e em tempo real e que os cálculos sejam feitos a partir de amostras obtidas no máximo a cada 15 minutos por um período que compreenda variações cíclicas na eficiência (THE GREEN GRID, 2007a).

### **CPE (*Computer Power Efficiency*)**

Proposta por Belady e Malone (2007), esta métrica de nível de servidor propõe quantificar a eficiência levando em consideração não apenas o percentual do que é entregue aos equipamentos de TI, mas também a capacidade desses equipamentos de transformar a energia consumida em trabalho realizado, demonstrando com isso o impacto de equipamentos ociosos, mas que continuam consumindo energia.

Uma das grandes dificuldades para implementação desta métrica é a definição de que indicador deve representar a utilização do equipamento. Para servidores, por exemplo, a escolha da utilização de CPU como indicador, além de não levar em consideração possíveis gargalos em memória e Entrada/Saída, pode ser bastante afetada quando o servidor estiver com a opção de gerenciamento de energia configurada (THE GREEN GRID, 2008).

### **DCeP (*Data Center energy Productivity*)**

Apesar do sucesso alcançado com as métricas de eficiência, o *Green Grid* identificou a necessidade estratégica de definir uma nova classe de métricas, que leva em conta a quantidade e a utilidade do trabalho produzido pelo *data center* em relação à energia consumida neste processo (THE GREEN GRID, 2008).

Em resumo, o trabalho útil é definido como a soma de todas as tarefas iniciadas e concluídas dentro da janela de medição multiplicadas por uma função baseada no tempo e normalizadas por um fator de ponderação. Este fator se faz necessário por se entender que as tarefas realizadas pelos equipamentos de TI não agregam necessariamente o mesmo valor, necessitando serem normalizadas para que tarefas mais importantes tenham maior peso que tarefas menos importantes, permitindo assim que todas sejam algebricamente somadas (THE GREEN GRID, 2008).

Apesar de entender que a DCEP é a métrica que melhor define a produtividade de um ambiente, o *Green Grid* (THE GREEN GRID, 2009) reconhece a dificuldade de se implementá-la, identificando a necessidade de indicadores mais simples, denominados de *proxies*, que apesar de não terem a mesma acurácia, são alternativas mais simples de implementar e também são capazes de realizar comparações do trabalho realizado num *data center*. Foram submetidos para avaliação dos membros do instituto 8 novos indicadores, 2 dos quais serão expostos a seguir.

O primeiro deles é na verdade apenas uma simplificação da DCEP, retirando da fórmula a função baseada no tempo, ou melhor, considerando-a como uma constante igual a 1. Se por um lado este novo indicador permanece consistente com a definição da DCEP, por outro lado mantém a necessidade de um fator de normalização, elemento de caráter subjetivo que tem sido bastante criticado por trazer bastante dificuldade na determinação do trabalho útil.

Outro indicador determina a quantidade de trabalho útil aplicando o nível de utilização de CPU sobre o *benchmark* de CPU do SPEC (SPECint\_rate2000 ou SPECint\_rate2006). Este indicador é mais genérico e não diferencia o tipo de trabalho realizado pelo servidor ou aplicação, não exigindo portanto a determinação prévia do peso de cada tarefa.

### 2.3.2 *Uptime Institute*

Fundado em 1993, o *Uptime Institute*<sup>17</sup> é uma entidade – independente de fornecedores – que presta serviços de consultoria e treinamento para organizações de TI interessadas em maximizar a disponibilidade de seus *data centers*. Sempre mantendo este foco, o instituto tem produzido um número considerável de artigos, simpósios e seminários, sendo responsável por importantes inovações nesta área (BRILL, 2007). Um exemplo dessas inovações foi a criação da classificação dos *data centers* em camadas (*tiers*), de acordo com o seu nível de disponibilidade. Como pode ser observado em Rafter (2007), essa classificação ficou amplamente conhecida, tornando-se atualmente um padrão na indústria, servindo inclusive como base para a norma internacional EIA/TIA-942.

O *Uptime Institute*, seguindo a temática ambiental e buscando endereçar a necessidade dos administradores em priorizar as iniciativas mais efetivas tanto do ponto de vista ambiental como econômico, tem desenvolvido um abrangente conjunto de métricas em nível de *data center*, com foco não apenas na eficiência, mas também na produtividade (STANLEY et. al., 2007). Algumas dessas métricas serão apresentadas a seguir.

#### **SI-POM (*Site Infrastructure Power Overhead Multiplier*)**

De forma análoga ao PUE (*Power Usage Effectiveness*), utilizando inclusive os mesmos parâmetros (modificando apenas a terminologia), o *Uptime Institute* (STANLEY et. al., 2007) propõe uma métrica para avaliar quanto da potência consumida pelo *data center* está sendo utilizada pela infraestrutura em lugar de estar alimentando os equipamentos de TI. Por outro lado, o fato do nome desta métrica se referir a um multiplicador de *overhead* parece refletir melhor a sua função, uma vez que resultados mais elevados significam pior eficiência, ou seja, maior o *overhead*.

---

<sup>17</sup> [www.uptimeinstitute.org](http://www.uptimeinstitute.org)

Como os parâmetros utilizados nesta métrica fornecem valores instantâneos, os resultados devem apresentar variações ao longo do tempo. Uma vez que a potência está mais relacionada com a capacidade do *data center*, é interessante que as medições levem em consideração os momentos de pico de consumo. Para se ter uma percepção mais completa da eficiência em períodos mais longos, deve ser utilizada separadamente a métrica SI-EOM (*Site Infrastructure Energy Overhead Multiplier*), que segue o mesmo princípio da SI-POM, substituindo apenas a potência instantânea, medida em KW, pela energia consumida, medida em KWh (STANLEY et. al., 2007).

### **H-POM (*IT Hardware Power Overhead Multiplier*)**

De acordo com Stanley et. al. (2007), esta métrica de nível de servidor pode ser utilizada para avaliar quanto da potência entregue para determinado equipamento é desperdiçada em conversão elétrica (corrente alternada para corrente contínua) e ventiladores internos. Quanto maior o resultado, menor a eficiência do equipamento em transformar a energia recebida em energia útil para os componentes internos de processamento.

Da mesma forma que ocorre com a SI-POM, também é possível replicar esta equação para uma métrica que leve em consideração a energia consumida ao longo do tempo, sendo chamada de E-POM (*IT Hardware Energy Overhead Multiplier*).

### **DH-UR (*Deployed Hardware Utilization Ratio*)**

Esta métrica busca quantificar o percentual de equipamentos que estão efetivamente em utilização. Sua maior relevância está em dar visibilidade a equipamentos que oferecem serviços legados ou de muito pouco interesse. São servidores e áreas de armazenamento que, apesar de pouco utilizados, geralmente enfrentam forte resistência até sua efetiva desativação que, sem o apoio executivo, pode levar muito tempo e também desperdiçar muita energia elétrica (STANLEY et. al., 2007).

### **DH-UE (*Deployed Hardware Utilization Efficiency*)**

O objetivo desta métrica é fornecer aos administradores do ambiente a margem de benefícios que pode ser atingida com a virtualização. Para tal, deve-se determinar o número mínimo de servidores que seriam capazes de atender os picos de demanda computacional e dividir pelo número de servidores atualmente em operação (STANLEY et. al., 2007).

Para melhor ilustrar esta métrica, pode se utilizar o exemplo de um *data center* com 17 servidores com nível de utilização máxima de 20%. Diante destes parâmetros, considerando que todos os servidores possuem o mesmo perfil, é possível afirmar que o número mínimo de servidores para atender toda a demanda computacional seria 3,4 e o valor da DH-UE seria 0,2. Caso fosse implantada uma estratégia radical de virtualização, consolidando toda a demanda em 4 servidores, o valor da DH-UE passaria para 0,85. Por este exemplo, pode-se concluir que quanto mais distante de 1 (melhor caso) estiver o resultado, maior o potencial de ganho com a virtualização.

### **2.3.3 SPEC**

SPEC<sup>18</sup> (*Standard Performance Evaluation Corporation*) é uma entidade sem fins lucrativos, criada em 1995 para estabelecer, manter e endossar um conjunto padronizado de *benchmarks* de grande relevância, que podem ser aplicados às novas gerações de computadores de alto desempenho. Além de desenvolver famílias de *benchmarks*, cujos resultados há vários anos têm sido utilizados para comparar o desempenho de servidores, o SPEC também revisa e publica resultados submetidos por seus membros ou outras organizações licenciadas (LAMB, 2009).

---

<sup>18</sup> <http://www.spec.org>

## SPECpower\_ssj2008

Em 2008, o SPEC criou uma nova família de *benchmarks*. Chamada de SPECpower\_ssj2008, seus resultados exprimem o comportamento da potência utilizada mediante diferentes níveis de utilização do equipamento, sendo o primeiro trabalho deste tipo a disponibilizar resultados para um grande número de categoria de servidores. Um dos mais significativos aspectos de se analisar a energia elétrica consumida por um servidor mediante o poder de processamento utilizado é verificar a energia consumida por este servidor mesmo quando ele está ocioso, evidenciando prováveis desperdícios causados por equipamentos com baixos níveis de utilização e estimulando ações por parte de fornecedores para aprimorar a eficiência energética (LAMB, 2009).

O SPECpower\_ssj2008 traz um enfoque diferente das métricas apresentadas até aqui, assim como das que serão propostas no capítulo seguinte. Até se tratar de um *benchmark*, não se restringe a divulgar a fórmula e os requisitos para o cálculo, mas sim, cria e disponibiliza um pacote de programas para inserir no servidor as cargas desejadas, avalia e valida as condições de execução deste pacote, assim como mantém uma página<sup>19</sup> onde divulga os resultados disponíveis.

Para simular os diferentes níveis de utilização, este *benchmark* utiliza a máquina virtual Java (JVM) para executar operações no servidor desenvolvidas especificamente para este fim (RIVOIRE et. al., 2007). Apesar da carga simulada não necessariamente corresponder à condição exata encontrada em instalações reais, seus resultados são bastante aceitáveis para determinar o comportamento do servidor e permitir comparações objetivas entre diferentes equipamentos (THE GREEN GRID, 2008).

---

<sup>19</sup> [http://www.spec.org/power\\_ssj2008/results/power\\_ssj2008.html](http://www.spec.org/power_ssj2008/results/power_ssj2008.html)



## 2.4 Considerações Acerca das Métricas Existentes

As métricas apresentadas neste capítulo (resumidas no Quadro 2.1) representam um grande esforço por parte de entidades bastante reconhecidas no sentido de quantificar a eficiência e a produtividade mediante a energia utilizada, pretendendo com isso estimular ações que diminuam proporcionalmente o impacto ambiental e econômico das operações de *data centers*.

Os indicadores de eficiência energética, sobretudo aqueles relacionados à infraestrutura, parecem já estar bem estabilizados e difundidos. Alguns deles são bastante semelhantes entre si, como por exemplo a PUE do *Green Grid* e a SI-POM do *Uptime Institute*. Por outro lado, a inexistência de uma base onde estejam disponibilizados os resultados alcançados pelas organizações que já as utilizam dificulta um pouco a percepção da própria situação por parte de empresas que estejam iniciando as medições, mas ainda não possuem parâmetros de comparação. Já o SPEC, com sua nova família de *benchmark*, se propõe a ser uma importante fonte de informações sobre o comportamento do desempenho de cada modelo de servidor mediante o seu consumo de energia.

Por sua vez, a métrica de produtividade definida pelo Green Grid, apesar de poder ser considerada um passo adiante em relação às métricas de eficiência, se ressentir pela falta de objetividade quando exige uma ponderação das atividades realizadas. Isto dificulta sobremaneira a comparação entre estruturas, uma vez que a percepção do valor agregado por cada tarefa pode variar bastante entre organizações diferentes. O próprio instituto chega inclusive a considerar aceitável pequenas perdas de acurácia, sugerindo métricas mais simples, que ele denomina como indicadores. Neste trabalho, os termos métricas e indicadores serão tratados como sinônimos.

Outra questão importante que permanece em aberto – e busca ser endereçada pelo framework proposto no capítulo 3 – é como as métricas podem trabalhar em conjunto, de forma que os operadores do *data center* possam verificar o efeito de melhorias em métricas

individuais sobre a produtividade do ambiente e em última instância sobre o consumo de energia de forma global.

**Quadro 2.1 – Resumo das métricas existentes**

<b>Métrica</b>	<b>Entidade Responsável</b>	<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
<b>PUE</b>	<i>Green Grid</i>	<i>Data Center</i>	<b>Efetividade da Energia Utilizada</b> , obtida pela divisão do total de KW consumidos pelos entregues aos equipamentos de TI
<b>DCiE</b>	<i>Green Grid</i>	<i>Data Center</i>	<b>Eficiência da Infraestrutura do Data Center</b> , obtida do % de KW utilizados pelos equipamentos de TI em relação ao total
<b>CPE</b>	<i>Green Grid</i>	Servidor	<b>Eficiência Energética do Computador</b> , obtida aplicando o percentual de utilização do servidor à DCiE do <i>data center</i> que o abriga
<b>DCeP</b>	<i>Green Grid</i>	<i>Data Center</i>	<b>Produtividade Energética do Data Center</b> , obtida a partir do número de tarefas realizadas – e o seu valor agregado para os usuários – por KW consumido
<b>SI-POM</b>	<i>Uptime Institute</i>	<i>Data Center</i>	<b>Multiplicador de Overhead da Infraestrutura</b> , obtida pela divisão do total de KW consumidos pelos entregues aos equipamentos de TI
<b>H-POM</b>	<i>Uptime Institute</i>	Servidor	<b>Multiplicador de Overhead da Conversão de Energia</b> , obtida pela divisão do total de corrente alternada que entra no equipamento pela corrente contínua que chega aos componentes internos
<b>DH-UR</b>	<i>Uptime Institute</i>	<i>Data Center</i>	<b>Utilização dos Equipamentos Disponíveis</b> , obtida a partir da divisão do número total de equipamentos efetivamente ativos pelo número de equipamentos disponíveis
<b>DH-UE</b>	<i>Uptime Institute</i>	<i>Data Center</i>	<b>Eficiência da Utilização dos Equipamentos Disponíveis</b> , obtida a partir da divisão da quantidade de equipamentos que atenderiam toda a demanda do <i>data center</i> pelo número de equipamentos efetivamente disponibilizados
<b>SPEC_power</b>	SPEC	Servidor	Benchmark que apresenta o comportamento do servidor em relação ao consumo de energia mediante diferentes níveis de utilização

### 3. Framework de Métricas

No Capítulo 2, foram apresentados diversos trabalhos abordando a questão de métricas de eficiência energética em diferentes níveis, desde componentes - como processadores, memória e discos – e equipamentos, até estruturas maiores e mais complexas, como os *data centers*. Enquanto métricas dos dois primeiros níveis são importantes para a implementação de melhorias na utilização de energia, além de muito úteis em processos de aquisição de equipamentos ou na fase de projeto dos *data centers*, a possibilidade de se inferir a respeito do estado real desses centros quando já estão em produção exige a utilização de métricas específicas. Rivoire et. al. (2007, tradução nossa) aponta que, “enquanto vários modelos têm sido desenvolvidos para endereçar necessidades individuais, a criação de métodos sistemáticos para geração de modelos portáteis permanece como um problema em aberto”.

O objetivo deste capítulo - como em última instância do trabalho como um todo - é apresentar um conjunto de métricas que permitam avaliar a questão da eficiência energética no nível dos *data centers*, por meio de uma estratégia *top-down*, partindo de métricas gerais de produtividade e complementado com métricas específicas sobre fatores que podem influenciar esta produtividade, permitindo que se estabeleça uma relação de causa e efeito.

Dentre as métricas que serão encontradas neste capítulo, estarão algumas já publicadas por empresas ou institutos especializados, podendo ser utilizadas em sua íntegra ou com pequenas modificações. Estarão presentes ainda novas métricas, que foram inspiradas por ideias apresentadas em métricas já publicadas ou mesmo por lacunas ainda não preenchidas pela bibliografia disponível.

No que se refere a *data centers*, a produtividade no aspecto energético pode ser aqui entendida como a razão entre a quantidade de trabalho efetivamente realizado pelos equipamentos de TI e o esforço energético empregado para a realização deste trabalho.

A premissa fundamental para a escolha destas métricas foi a possibilidade de se comparar a produtividade de diferentes estruturas no que se refere ao consumo de energia. Outros fatores de grande importância foram a simplicidade para o levantamento de informações e a possibilidade de obtenção dos resultados de forma não invasiva, ou seja, sem provocar interrupções de serviços ou inserir processamentos espúrios na infraestrutura de produção.

As métricas escolhidas para o *framework* serão apresentadas nas seções a seguir, sendo divididas em três categorias: infraestrutura, servidores e armazenamento. Antes, porém, serão analisados os fatores de influência para a produtividade dos *data centers* em relação ao consumo de energia. Por fim, serão realizadas considerações acerca das métricas sugeridas.

### **3.1 Fatores de Influência na Produtividade**

A análise da bibliografia disponível, reforçada pelo senso comum, permite que se identifiquem claramente alguns fatores que representam impacto significativo para a produtividade de *data centers* no tocante à questão energética. A Figura 3.1 apresenta graficamente a relação entre estes fatores por meio de um diagrama de causa e efeito (ISHIKAWA, 1986), também conhecido como diagrama “espinha de peixe” ou simplesmente como diagrama de Ishikawa.

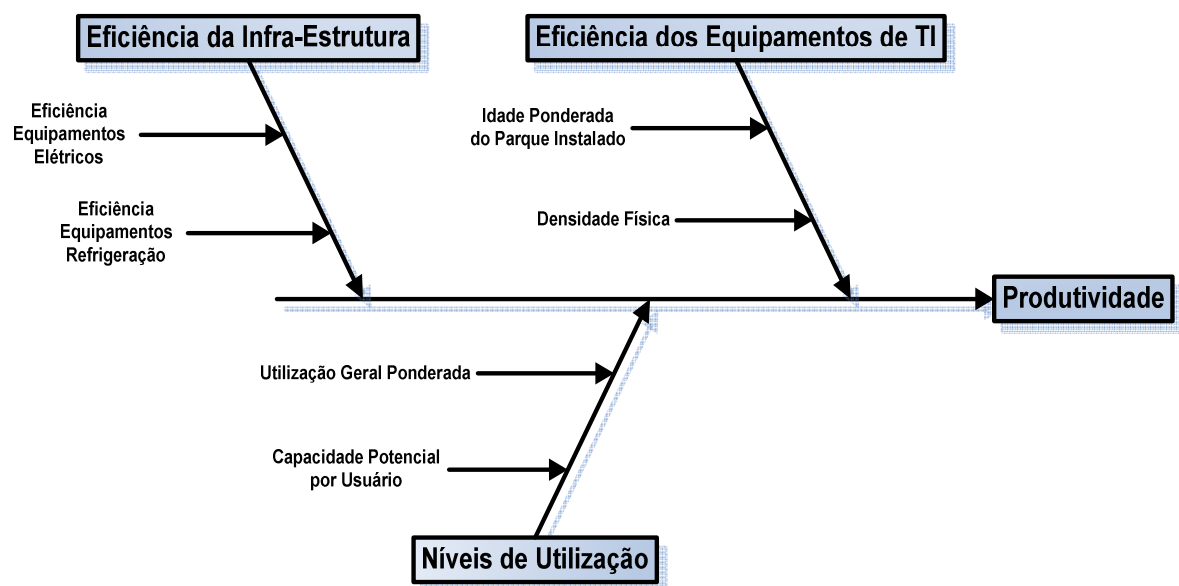


Figura 3.1: Diagrama de causa e efeito de Ishikawa

### 3.1.1 Eficiência da Infraestrutura

A eficiência da infraestrutura física do *data center* está relacionada à quantidade de energia elétrica utilizada pelos subsistemas elétrico e de refrigeração no processo de condicionamento da energia efetivamente entregue aos equipamentos de TI e de remoção do calor dissipado por estes equipamentos, mantendo as condições ambientais necessárias para o funcionamento desta estrutura nos padrões esperados de disponibilidade. A relevância desta categoria para a produtividade é bastante óbvia, na medida em que, quanto mais eficiente for esta infraestrutura, menos energia será utilizada para a execução das mesmas tarefas.

Rasmussen (2006b) aponta que, independentemente do nível de utilização pelos equipamentos de TI, existe uma perda relativamente fixa inerente aos recursos elétricos necessários para a simples manutenção do equipamento ligado. Esta perda, por sua vez, será mais representativa na medida em que os equipamentos de TI menos utilizarem a energia disponibilizada. A Figura 3.2 apresenta esta ideia para o consumo interno da UPS (*uninterruptible power supply*), demonstrando como infraestruturas físicas superdimensionadas podem representar um grande impacto na eficiência elétrica.

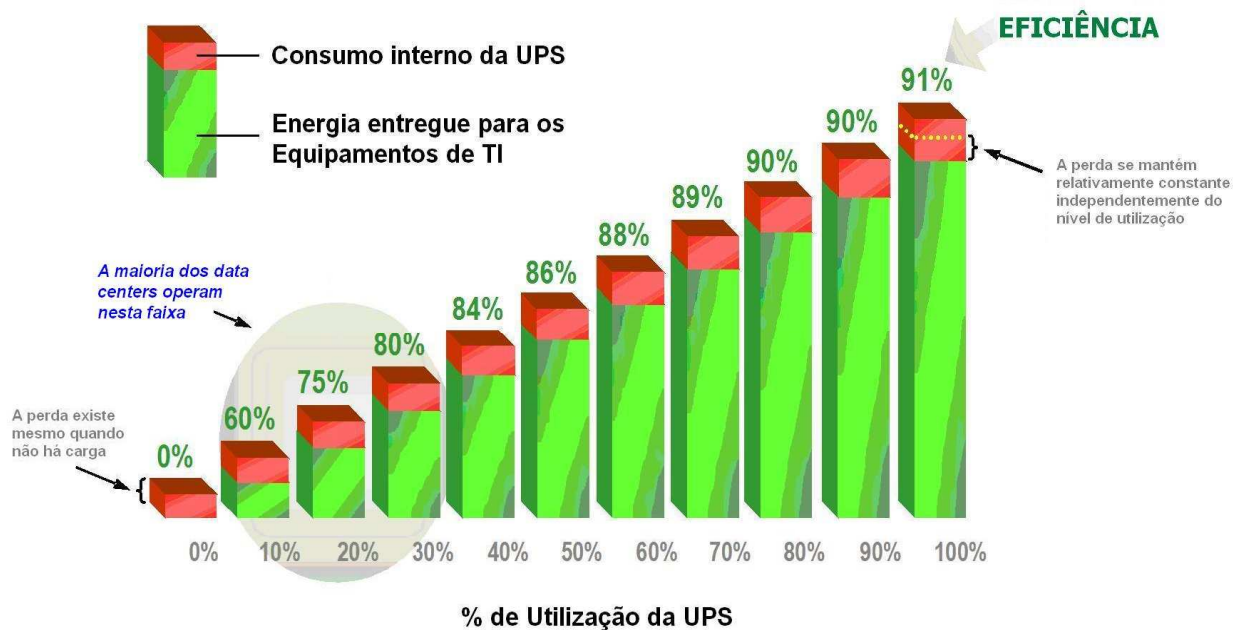


Figura 3.2: Efeito do consumo interno da UPS na eficiência (adaptado de RASMUSSEN, 2006a)

### 3.1.2 Eficiência dos Equipamentos de TI

Uma vez isolada a energia efetivamente entregue aos equipamentos de TI, a eficiência com que esses equipamentos utilizarão a energia recebida para executar suas tarefas influenciará significativamente a produtividade geral.

A migração dos equipamentos atuais para plataformas mais novas e mais eficientes tem sido uma das principais estratégias adotadas para a redução do consumo de energia. Quando corretamente implementada, ou seja, seguindo uma premissa global de consolidação, esta estratégia terá como resultado equipamentos com mais desempenho ocupando menos espaço físico (RASMUSSEN, 2006b).

Diante da constatação de que os equipamentos estão cada vez mais eficientes, a idade ponderada do parque instalado é um importante indício desta eficiência. O aumento da

densidade, por sua vez, implica não apenas em maior capacidade de execução em espaços físicos mais reduzidos, mas também na melhor utilização proporcional de outros recursos, como energia e refrigeração, significando uma maior eficiência dos equipamentos e em última instância da estrutura como um todo.

### 3.1.3 Níveis de Utilização

Equipamentos ligados, mesmo quando não estão efetivamente em uso, consomem uma quantidade considerável de energia. Para Rivoire et. al. (2007), em alguns casos este consumo pode chegar até a 50% do consumo verificado em situações de picos de utilização. Este passivo, necessário para alimentar um servidor mesmo quando ele não está produzindo trabalho algum, se reflete na sua eficiência energética, que atingirá os melhores índices somente em altos níveis de utilização do equipamento. A Figura 3.3 traz como exemplo o comportamento do Dell PowerEdge R610 (Intel Xeon X5570, 2.93 GHz) mediante diferentes níveis de utilização.

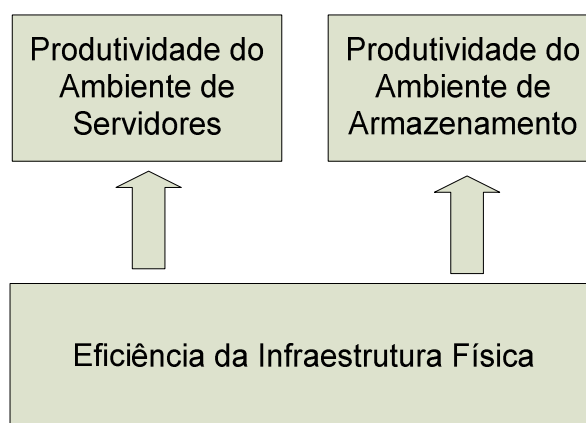


Figura 3.3: Resultado do Dell PowerEdge R610 no SPECpower\_ssj2008 (adaptado de SPEC, 2009)

O nível de utilização ponderado dos equipamentos do *data center* pode ser obtido a partir da monitoração direta dos percentuais de utilização dos equipamentos individualmente. Para estruturas com mesmo perfil de prestação de serviços, outro indicador interessante para explicar possíveis valores inesperados nos níveis de utilização é a capacidade potencial do ambiente em relação ao número de usuários. A comparação deste indicador em *data centers* de mesma finalidade pode evidenciar, por exemplo, que um deles – o menos eficiente – está mal dimensionado para atender aquele número de usuários.

### 3.2 Métricas de Infraestrutura Física

Conforme já visto anteriormente, as métricas desta categoria podem evidenciar problemas nos subsistemas elétrico e/ou de refrigeração, que afetarão globalmente a produtividade do *data center*, seja no ambiente de servidores, seja no ambiente de armazenamento (Figura 3.4). Diante disto, para evitar a repetição destas métricas nos dois ambientes, elas serão abordadas neste tópico, separadamente.



**Figura 3.4 – Relação entre infraestrutura física e produtividade nos ambientes**

Como já apresentado no Capítulo 2, métricas de infraestrutura física foram amplamente abordadas e publicadas por respeitadas instituições, em especial pelo *Green Grid*<sup>20</sup>,

---

<sup>20</sup> [www.thegreengrid.org](http://www.thegreengrid.org)



responsável justamente pelas duas métricas desta categoria que serão utilizadas no *framework* proposto. Por esta razão, neste capítulo será realizada apenas uma breve apresentação das métricas e da motivação para utilizá-las.

### 3.2.1 Efetividade da Energia Utilizada

Definida pelo *Green Grid* (THE GREEN GRID, 2007b) com o acrônimo PUE (*Power Usage Effectiveness*), esta métrica fornece como resultado um valor numérico (sem dimensão), determinado a partir da fórmula abaixo, que permite identificar eventuais desvios na quantidade de recursos de energia que está sendo utilizada para suportar a infraestrutura do *data center*. Quanto maior o valor, mais representativo é o consumo – e consequentemente os custos – com a infraestrutura do *data center*.

$$PUE = \frac{PotênciaTotal}{PotênciaEquipTI} \quad (1)$$

Onde:

*PotênciaTotal* = medida em Watts, é a potência total de alimentação do *data center*, incluindo a infra elétrica e de refrigeração;

*PotênciaEquipTI* = medida em Watts, representa a fatia de potência que é efetivamente entregue para os equipamentos de TI.

Apesar do termo efetividade, utilizado na definição desta métrica, não corresponder perfeitamente à ideia de “quanto maior, pior será”, a utilização desta métrica no *framework* sugerido é quase obrigatória quando se leva em consideração seu caráter genérico, a possibilidade de se encontrar parâmetros de referência e a relativa facilidade de aquisição dos dados, uma vez que implica em um número reduzido de pontos de medição, geralmente centralizados.

### 3.2.2 Eficiência da Infraestrutura do *Data Center*

Também definida pelo *Green Grid* (THE GREEN GRID, 2007b), a DCiE (*Data Center infrastructure Efficiency*) pode ser obtida a partir das fórmulas abaixo, seja por meio das medições diretas, ou calculada a partir da PUE, sua recíproca. Como consequência, ao contrário do que ocorre com a PUE, traz como resultado um percentual diretamente proporcional – e mais adequado - à ideia de eficiência trazida em sua descrição, ou seja, quanto maior o percentual, maior a eficiência.

$$DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{PotênciaEquipTI}{PotênciaTotal} \quad (2)$$

Onde:

*PotênciaTotal* = medida em Watts, é a potência total de alimentação do *data center*, incluindo a infra elétrica e de refrigeração;

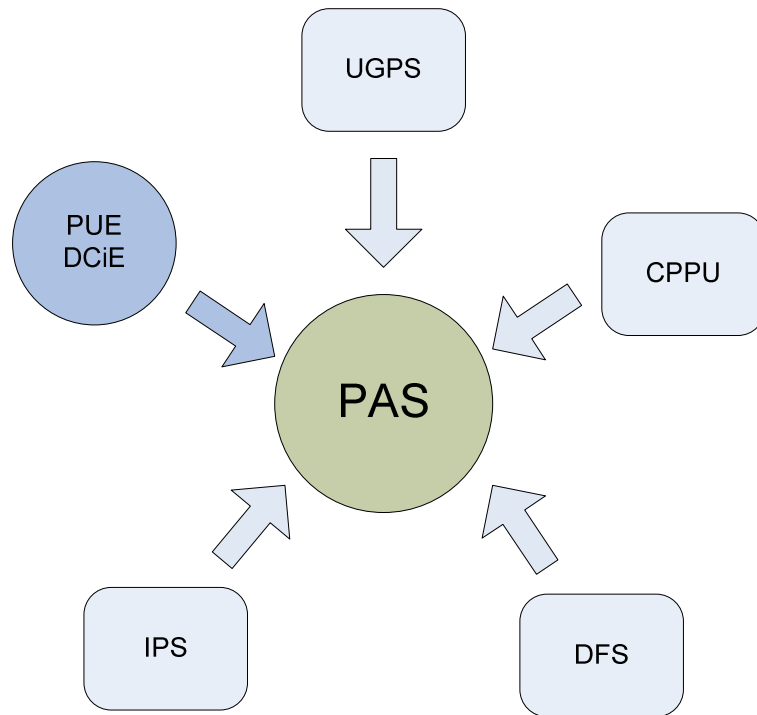
*PotênciaEquipTI* = medida em Watts, representa a fatia de potência que é efetivamente entregue para os equipamentos de TI.

## 3.3 Métricas de Servidores

Estejam eles abrigando sistemas gerenciadores de bancos de dados, de correio eletrônico, aplicações de missão crítica ou até mesmo funções de suporte, como gerenciamento e segurança, os servidores de um *data center* são responsáveis pelo processamento de informações de uma organização, em última instância o principal produto destes centros. Neste contexto, a análise e definição de métricas para este ambiente é indispensável quando se trata de eficiência energética de *data centers*.

Neste tópico serão apresentadas métricas para este ambiente, partindo de uma métrica principal, que trata da produtividade consolidada dos servidores mediante a energia consumida. Serão apresentadas também métricas secundárias que, juntamente com as

métricas de infraestrutura física, abordam características específicas que contribuem para o resultado da métrica principal. A dinâmica desta influência é percebida na arquitetura das métricas deste ambiente, como pode ser observado na Figura 3.5.



**Figura 3.5 – Arquitetura das métricas do ambiente de servidores**

### **3.3.1 Produtividade do Ambiente de Servidores**

A PAS (Produtividade do Ambiente de Servidores) tem como objetivo avaliar a produtividade do conjunto de servidores de um *data center* sob a ótica energética. Para tal, deve ser analisada a quantidade de trabalho que está sendo efetivamente realizado pelos servidores, levando-se em consideração a quantidade de recursos elétricos utilizados neste processo.

Na literatura atual não há um consenso claro e objetivo sobre como estimar o trabalho realizado pelos servidores. Para alguns, como The Green Grid (2008), deve ser considerado apenas o trabalho útil e de forma ponderada, ou seja, é necessário estimar o valor

das tarefas realizadas pelos servidores. Já para Rivoire et. al. (2007), a utilização de contadores de sistema operacional (indicadores de desempenho de componentes individuais que fornecem informações sobre seu nível de utilização) é bastante adequada para métricas em nível de *data centers*, oferecendo rapidez, portabilidade e uma razoável acurácia.

O *framework* proposto neste trabalho utilizará a segunda opção, buscando garantir a simplicidade e a objetividade nas comparações e por considerar que as atividades de suporte – ou *overhead* – são necessárias, mesmo quando não estão diretamente relacionadas a questões de missão crítica. Neste sentido, para estimar o trabalho realizado, o percentual de utilização de cada servidor será aplicado sobre a pontuação obtida por este equipamento em um *benchmark* público de ampla utilização, que representará a potencialidade daquele servidor.

O SPEC CPU - um dos principais *benchmarks* do Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC) – foi escolhido para esta métrica em grande parte por sua ampla gama de resultados disponíveis, que são calculados por meio de operações que estressam basicamente os subsistemas de CPU e memória, de forma a estimar o desempenho daquele servidor. Esta característica pode ser considerada um dos fatores de sucesso deste *benchmark*, uma vez que iniciativas semelhantes que contemplem outros componentes (entrada/saída, sistema operacional, etc.) são geralmente restritas a determinadas plataformas e mais complicados para serem executados, implicando em um número reduzido de resultados publicados (HEWLETT-PACKARD, 2007).

Os resultados disponibilizados pelo SPEC CPU são classificados por três categorias, cada uma com duas opções, fornecendo assim oito tipos possíveis de resultados. Quanto ao tipo de operações matemáticas, podem ser utilizadas operações de ponto flutuante ou então baseadas em números inteiros, sendo estes últimos mais adequados para simular aplicações de negócio. Já quanto às configurações utilizadas nos compiladores, o tipo *base* conterà resultados obtidos a partir da execução dos testes com as opções padrões dos compiladores, enquanto o *peak* utiliza configurações otimizadas destes compiladores. Por fim, as medidas obtidas também podem ser do tipo *speed*, refletindo a habilidade de um servidor para executar tarefas que utilizem apenas um núcleo, ou de *rate*, mais adequada para

servidores com múltiplos processadores e núcleos, por executarem um número significativo de tarefas simultâneas (HEWLETT-PACKARD, 2007).

Diante do exposto, o conjunto de resultados mais significativo para uso geral em aplicações de negócio é o *SPECint\_rate\_base*, que fornece resultados a partir de operações simultâneas com números inteiros e os compiladores com configurações padronizadas, além de apresentar uma base significativa de servidores avaliados. Caso o *data center* a ser avaliado possua características bem específicas, sendo mais adequada a utilização de outro conjunto de resultados, esta modificação pode ser realizada. Entretanto, vale ressaltar que neste caso a possibilidade de comparação pode ser comprometida, uma vez que se estará confrontando métricas baseadas em conjuntos divergentes de resultados.

Desta forma, a equação a seguir seria bastante adequada para se obter a produtividade do ambiente de servidores de forma prática e objetiva.

$$PAS = \frac{\sum_{i=1}^n SPEC_{Serv_i} * Utilização_{Serv_i}}{Potência_{Servidores} * PUE} \quad (3)$$

Onde:

*SPEC<sub>Serv</sub>* = unidade de desempenho obtida por meio do *benchmark* de CPU realizado pela SPEC para aquele servidor específico;

*Utilização<sub>Serv</sub>* = percentual de utilização do servidor específico, obtido a partir do maior valor entre utilização de CPU e utilização de memória;

*Potência<sub>Servidores</sub>* = medida em KW, é a potência instantânea total entregue diretamente aos servidores do *data center*;

*PUE* = métrica de eficiência da infraestrutura física (sistemas elétricos e de refrigeração) – equação (1).

Seguindo a mesma premissa do *benchmark* de desempenho do servidor, o nível de utilização será aqui determinado a partir dos contadores de sistema operacional relativos a CPU e memória, levando em consideração o que estiver com maior valor percentual de

utilização. Com essa abordagem de considerar o maior valor, é possível se obter de forma rápida e direta um valor significativo de utilização do servidor, respeitando a capacidade de acréscimo de carga no equipamento, o que não ocorreria caso fosse utilizada a média entre os valores obtidos. Aplicativos de gerenciamento de rede (Nagios<sup>21</sup>, IBM Tivoli<sup>22</sup>, etc.) ou mesmo scripts de fácil desenvolvimento são soluções simples e eficientes para a obtenção dos percentuais de utilização de memória e CPU.

A utilização da PUE - métrica já descrita anteriormente (1) - na equação acima serve para determinar o total de potência utilizada para os servidores, adicionando-se proporcionalmente os recursos utilizados para suportar a infraestrutura aos valores medidos como efetivamente entregue a estes equipamentos.

A equação apresentada fornecerá valores instantâneos da produtividade do ambiente de servidores. Como esses valores tendem a se modificar ao longo de períodos de maior ou menor utilização, é importante que seja obtido um número de amostras suficientes para representar os diversos perfis de carga, de forma que a média dessas amostras seja então considerada a produtividade daquele ambiente. O período e a quantidade de amostras pode variar para cada *data center*, mas o importante é que as diversas situações de carga – como dias úteis, não úteis, horários de pico, etc. – sejam consideradas.

De posse da média consolidada das amostras, a conversão desta métrica - calculada em termos de potência (KW) - para uma métrica baseada em energia (KWh) é realizada de forma direta, com resultados idênticos. Como a cobrança das distribuidoras de energia é feita com base no número de *Kilowatts-Hora* consumidos, é possível analisar a equação proposta sob a ótica dos custos financeiros. Desta forma, a produtividade do ambiente pode ser abordada tanto pela potência instantânea, como pela energia consumida ou pela unidade monetária gasta.

---

<sup>21</sup> <http://www.nagios.org>

<sup>22</sup> <http://www.ibm.com/tivoli>

Em paralelo aos estudos deste trabalho e ao desenvolvimento desta métrica, foi publicado pelo The Green Grid (2009) um conjunto de propostas para determinar a produtividade de *data centers* de forma mais simples e objetiva, ou seja, sem considerar a utilidade efetiva do processamento realizado. Dentre as propostas apresentadas, uma delas (descrita no item 2.3.1 e representada pela fórmula a seguir) é bastante semelhante à métrica aqui descrita, utilizando inclusive o mesmo *benchmark* como referência.

$$Pr_{oxy_{SPECint}} = \frac{T * \sum_{i=1}^n \left( U_{AVG} CPU_i * B_i * \left( \frac{Clk\_CPU_i}{Clk\_B_i} \right) \right)}{E_{DC}}$$

Onde:

$T$  = é o tamanho da janela de medição;

$n$  = número de tarefas iniciadas durante a janela de medição;

$U_{AVG} CPU_i$  = é a média de utilização de CPU do servidor;

$B_i$  = é o resultado do *benchmark* para o servidor avaliado;

$Clk\_CPU_i$  = é a frequência nominal de *clock* do servidor avaliado;

$Clk\_B_i$  = é a frequência nominal de *clock* do servidor utilizado como parâmetro,

nos casos onde o servidor avaliado não possua resultados disponíveis no *benchmark*;

$E_{DC}$  = medida em KWh, representa a quantidade total de energia consumida para a realização do trabalho.

As diferenças no numerador ficam por conta do percentual de utilização de CPU como indicador único – sem levar em consideração o consumo de memória – e da razão entre os *clocks* do servidor real e do seu semelhante no *benchmark* para os casos onde os resultados para aquele servidor não esteja disponível. Para estes casos, a métrica aqui definida prefere que esta equivalência seja realizada no levantamento dos dados do ambiente, não estando presente como elemento da fórmula. Outra diferença significativa está no denominador, onde se considera toda a energia utilizada pelo *data center*, inclusive aquela destinada ao ambiente de armazenamento e aos elementos de rede, o que pode representar algumas distorções, impedindo a comparação em situações onde a representatividade dos ambientes tenham composições diferentes.

### 3.3.2 Idade Ponderada de Servidores

Como o próprio nome sugere, a métrica IPS busca identificar a idade média dos servidores de um *data center*, ponderada de acordo com a capacidade de desempenho de cada equipamento.

Diante da preocupação com o tema e da constante evolução tecnológica, a idade dos servidores é um bom indício de quão eficientes são esses equipamentos, o que, como visto anteriormente, exerce óbvia e significativa influência na produtividade do ambiente como um todo. Como exemplo, valores excessivamente altos para esta métrica podem explicar resultados relativamente baixos que se obtenham na métrica de produtividade.

Como forma de se obter o peso de cada servidor para a capacidade geral do ambiente, nesta métrica serão também utilizados os valores do *benchmark* SPECint\_rate\_base, que fornece resultados a partir de operações simultâneas com números inteiros e os compiladores em suas configurações padrão.

$$IPS = \frac{\sum_{i=1}^n SPECServ_i * IdadeServ_i}{\sum_{i=1}^n SPECServ_i} \quad (4)$$

Onde:

$SPECServ$  = unidade de desempenho obtida por meio do *benchmark* de CPU realizado pela SPEC para aquele servidor específico;

$IdadeServ$  = idade do servidor, calculada em meses decorridos desde a data de compra do equipamento.

Visto que o aspecto avaliado por esta métrica é a evolução tecnológica, para o caso específico onde um servidor seja doado ou transferido de um *data center* para outro, deve ser considerada a data de compra original.



### 3.3.3 Densidade Física de Servidores

Os sucessivos avanços tecnológicos, seja pela miniaturização e otimização de componentes convencionais ou mesmo pela inserção de inovações de *hardware*, têm propiciado o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais poderosos que ocupam o mesmo – ou até menos – espaço físico de seus antecessores. Este processo tem realizado uma verdadeira revolução nos *data centers*, viabilizando inclusive novas tendências, como a virtualização por exemplo. Da mesma forma que a métrica anterior, a densidade física da capacidade de desempenho dos servidores, aqui chamada de DFS, é um indicativo interessante sobre a eficiência dos equipamentos, por conseguinte afetando a produtividade do ambiente.

Conforme a equação a seguir, para calcular esta métrica, o valor total de SPEC - que é obtido a partir da soma dos resultados obtidos por cada servidor no *benchmark* SPECint\_rate\_base - será dividido pelo espaço físico total, que é determinado pelo número de unidade modulares de *rack* utilizadas por estes servidores. Para se ter uma ideia, um *rack* de tamanho padrão possui 42 unidades modulares, cada uma com 4,4 centímetros de altura.

$$DFS = \frac{\sum_{i=1}^n SPEC_{Serv_i}}{EspaceUtilizado} \quad (5)$$

Onde:

$SPEC_{Serv}$  = unidade de desempenho obtida por meio do *benchmark* de CPU realizado pela SPEC para aquele servidor específico;

$EspaceUtilizado$  = número total de unidades modulares de *rack* ocupados pelos servidores do *data center*.

### 3.3.4 Utilização Geral Ponderada de Servidores

Como visto anteriormente, quanto maior for o nível de utilização de um servidor e consequentemente o trabalho produzido, maior será sua eficiência, refletindo-se proporcionalmente na produtividade do ambiente. Para determinar a potencialidade de cada servidor, será novamente utilizado o *benchmark* `SPECint_rate_base`, que aplicado aos níveis de utilização individuais, fornecerá de forma ponderada o percentual de utilização geral do ambiente de servidores, que será chamada de UGPS.

$$UGPS = \frac{\sum_{i=1}^n SPECServ_i * UtilizaçãoServ_i}{\sum_{i=1}^n SPECServ_i} \quad (6)$$

Onde:

$SPECServ$  = unidade de desempenho obtida por meio do *benchmark* de CPU realizado pela SPEC para aquele servidor específico;

$UtilizaçãoServ$  = percentual de utilização do servidor específico, obtido a partir do maior valor entre utilização de CPU e utilização de memória.

### 3.3.5 Capacidade de Processamento por Usuário

Quando são comparados *data centers* com as mesmas funções, ou seja, com o mesmo perfil de aplicações e serviços, a capacidade de processamento mediante o número de usuários atendidos pode eventualmente fornecer indícios de estruturas mal dimensionadas, o que implicará em queda na produtividade. Para calcular a capacidade de processamento por usuário (CPPU), basta dividir a capacidade total do ambiente, determinada pelo somatório dos SPEC de cada servidor em operação, pelo número total de usuários atendidos por esta estrutura, conforme a equação a seguir.

$$CPPU = \frac{\sum_{i=1}^n SPECServ_i}{NumUsuários} \quad (7)$$

Onde:

$SPECServ$  = unidade de desempenho obtida por meio do *benchmark* de CPU realizado pela SPEC para aquele servidor específico;

$NumUsuários$  = total de usuários atendidos por aquele *data center*.

### 3.4 Métricas de Armazenamento

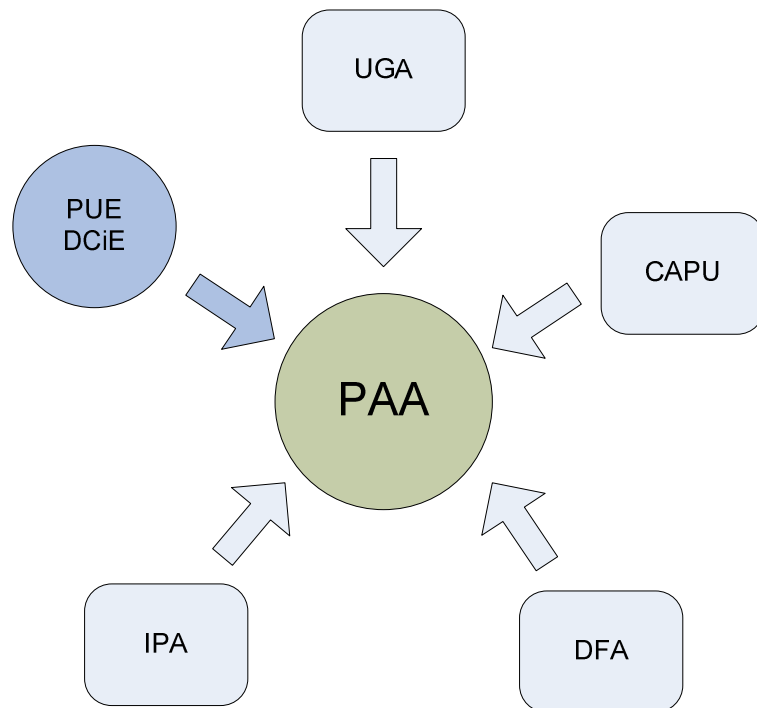
Há alguns anos, o ambiente de armazenamento de um *data center* se caracterizava por um ou mais discos locais – às vezes dotados de mecanismos de redundância e tolerância a falhas – internos aos servidores. As rotinas de salvaguarda (*backup*) das informações armazenadas nestes discos eram comumente realizadas através de unidades de fita existentes nos próprios servidores.

O cenário atual é bem diferente. A demanda por este tipo de serviço aumentou muito, a ponto de se tornar inevitável o surgimento de equipamentos dedicados para esta tarefa. Esses *appliances* (equipamentos com arquitetura física e sistema operacional específicos) podem ser responsáveis diretos pelos serviços de arquivos, geralmente utilizando a tecnologia NAS (*Network Attached Storage*), ou mesmo pela “ampliação” da capacidade de armazenamento dedicado a servidores que hospedam aplicações (SGBD, correio eletrônico, virtualização, entre outras) que necessitem de grandes áreas de armazenamento. Neste último caso, geralmente se utilizam SAN (*Storage Area Networks*), que prevêm estruturas de redes específicas entre os servidores e o equipamento de armazenamento onde estão dispostos os discos físicos.

Os mecanismos de armazenamento secundário (*backup*), por sua vez, foram obrigados a acompanhar esta evolução dos recursos de armazenamento primário (discos). Fitotecas robotizadas ou até mesmo elementos de discos rígidos de baixo custo cumprem hoje

a responsabilidade de manter a capacidade de recuperação de dados perdidos, tornando muitas vezes nebulosos os limites sobre o que é armazenamento primário e o que é secundário.

Neste tópico serão apresentadas métricas que servem para o ambiente de armazenamento como um todo. Partindo de uma métrica principal, que trata da produtividade consolidada dos equipamentos de armazenamento mediante a energia consumida, serão apresentadas também métricas secundárias que, juntamente com as métricas de infraestrutura física, abordam características específicas que contribuem para o resultado da métrica principal. A Figura 3.6 se refere à arquitetura das métricas deste ambiente.



**Figura 3.6 – Arquitetura das métricas do ambiente de armazenamento**

### 3.4.1 Produtividade do Ambiente de Armazenamento

O objetivo da PAA (Produtividade do Ambiente de Armazenamento) é avaliar a produtividade do ambiente de armazenamento de um *data center* do ponto de vista da utilização de energia. Como no ambiente de servidores, o primeiro passo é determinar a quantidade de trabalho que está sendo efetivamente realizado pelos equipamentos deste ambiente.

Devido à falta de uma base pública e abrangente com resultados que avaliem de forma ampla os diversos aspectos (velocidade, escalabilidade, disponibilidade, entre outros) dos serviços prestados pelas unidades de armazenamento, ou até mesmo pela dificuldade em se estipular os devidos pesos para cada um desses aspectos, a única medida que será utilizada para medir o trabalho realizado por esses equipamentos será a utilização efetiva das áreas disponibilizadas. Esta é também uma das razões da dificuldade de se normalizar os valores obtidos neste ambiente com os provenientes dos servidores, tornando necessário o tratamento desses ambientes de forma separada.

Desta forma, a equação abaixo pode ser utilizada para se obter de forma prática e objetiva a produtividade do ambiente de armazenamento.

$$PAA = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaUtilizadaStorage}_i}{\text{PotênciaArmazenamento} * PUE} \quad (8)$$

Onde:

*ÁreaUtilizadaStorage* = total de *Terabytes* fornecidos pela unidade de armazenamento, que estão sendo efetivamente utilizados por usuários e aplicações;

*PotênciaArmazenamento* = medida em KW, é a potência instantânea total entregue diretamente aos equipamentos de armazenamento do *data center*;

*PUE* = métrica de eficiência da infraestrutura física (sistemas elétricos e de refrigeração) – equação (1).

Além das já relatadas dificuldades em se medir de forma ampla e objetiva o serviço prestado por esses equipamentos, a própria unidade utilizada (*TeraBytes*) pode se tornar obsoleta na medida em que o crescimento vegetativo ou a evolução das aplicações passem a exigir volumes mais vultosos.

No que se refere especificamente aos equipamentos para as rotinas de backup para fitas magnéticas, novamente a dificuldade em se ponderar o valor de um *TeraByte* de um equipamento de armazenamento em produção com o de uma fita magnética restringirá a estimativa dos serviços de armazenamento apenas ao que é disponibilizado pelas unidades de armazenamento primário, apesar do cálculo da potência utilizada levar em consideração os dois tipos. Vale ressaltar que isso não chega a comprometer a validade desta métrica, visto que grande parte da massa de dados copiados é proveniente dos equipamentos de armazenamento primário, garantindo a proporcionalidade dos valores calculados.

Da mesma forma que na produtividade de servidores, a utilização da PUE na equação acima serve para determinar o total de potência utilizada para os equipamentos do ambiente de armazenamento, adicionando-se proporcionalmente os recursos utilizados para suportar a infraestrutura aos valores medidos como efetivamente entregues a estes equipamentos.

Apesar dos valores obtidos nesta métrica também serem instantâneos, o fato do elemento que está no numerador não apresentar a mesma variabilidade dos níveis de utilização dos servidores implicará em valores mais estáveis ao longo do tempo. De qualquer forma, é importante que o período e a quantidade de amostras sejam representativos das diferentes situações de carga (dias úteis, não úteis, horários de pico, entre outras), permitindo que a média dos valores calculados para cada amostra seja considerada a produtividade do ambiente de armazenamento.

A conversão desta métrica, calculada em termos de potência (KW), para uma métrica baseada em energia (KWh), pode ser feita de forma direta, com resultados idênticos. Sendo assim, da forma análoga ao que ocorre com os servidores, a produtividade do ambiente

pode ser abordada tanto pela potência instantânea, como pela energia consumida. Uma vez convertida para KWh, a produtividade pode ser também analisada sob o ponto de vista dos custos financeiros.

### 3.4.2 Idade Ponderada de Armazenamento

Da mesma forma que ocorre com os servidores, a preocupação com as restrições de energia e espaço têm produzido equipamentos de armazenamento cada vez mais eficientes no que se refere ao consumo de recursos. Diante disto, a idade média do ambiente de armazenamento é também um indicador interessante, na medida em que se reflete na produtividade do ambiente.

Para calcular esta métrica, que será chamada de IPA, basta multiplicar a capacidade disponível em cada equipamento de armazenamento primário - medida em *Terabytes* – pelo tempo decorrido em meses desde a sua compra, dividindo o somatório desses resultados pela capacidade total do ambiente, de forma a obter a idade ponderada. A equação abaixo apresenta a forma de cálculo desta métrica.

$$IPA = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i * \text{IdadeStorage}_i}{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i} \quad (9)$$

Onde:

*ÁreaDisponibilizadaStorage* = total de *Terabytes* disponibilizados pelo equipamento de armazenamento;

*IdadeStorage* = idade do equipamento de armazenamento, calculada em meses decorridos desde a data de compra do equipamento.

Visto que o aspecto avaliado por esta métrica é a evolução tecnológica, para o caso específico onde um equipamento de armazenamento seja doado ou transferido de um *data center* para outro, deve ser considerada a data de compra original.

### 3.4.3 Densidade Física de Armazenamento

A exemplo da criação dos promissores discos de estado sólido (*Solid State Disks*), os sucessivos aprimoramentos tecnológicos realizados pelos fabricantes de unidades de armazenamento estão geralmente em sintonia com a forte demanda pela consolidação de ambientes, ou seja, maior capacidade de armazenamento ocupando espaços físicos mais reduzidos. Apesar deste fenômeno não ocorrer com a velocidade necessária para compensar a demanda dos usuários por mais recursos deste tipo, a relação entre a capacidade disponível e o espaço físico ocupado oferece informações importantes sobre a eficiência deste ambiente, com impactos significativos no próprio consumo de energia e também na necessidade de refrigeração, afetando em última instância a produtividade do ambiente.

Conforme a equação a seguir, para calcular a densidade física de Armazenamento (DFA), o somatório da capacidade disponível em cada equipamento de armazenamento - medida em *Terabytes* – será dividido pelo espaço físico total, que é determinado pelo número de unidades modulares de *rack* (4,4 centímetros de altura) utilizadas por estes equipamentos.

$$DFA = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i}{\text{EspaçoFísicoUtilizado}} \quad (10)$$

Onde:

*ÁreaDisponibilizadaStorage* = total de *Terabytes* disponibilizados pelo equipamento de armazenamento;

*EspaçoFísicoUtilizado* = número total de unidades modulares de *rack* ocupados pelos equipamentos de armazenamento do *data center*.



### 3.4.4 Utilização Geral de Armazenamento

Considerando como principal indicador da prestação dos serviços de armazenamento o espaço efetivamente ocupado por aplicações e usuários, quanto maior for o percentual dessa utilização em relação à capacidade total disponível de armazenamento, menos representativa será a quantidade de energia utilizada para manter as áreas disponíveis – independente de sua utilização ou não - e maior será a influência positiva na produtividade do ambiente. Diante disto, a fórmula abaixo pode ser utilizada para calcular a utilização geral de armazenamento (UGA).

$$UGA = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaUtilizadaStorage}_i}{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i} * 100\% \quad (11)$$

Onde:

*ÁreaUtilizadaStorage* = total de *Terabytes* fornecidos pelo equipamento de armazenamento que estão sendo efetivamente utilizados por usuários e aplicações;

*ÁreaDisponibilizadaStorage* = total de *Terabytes* disponibilizados pelo equipamento de armazenamento.

### 3.4.5 Capacidade de Armazenamento por Usuário

Outro indicador de importante influência sobre a produtividade do ambiente – também da categoria de níveis de utilização – é a capacidade total de armazenamento dividida pelo número de usuários atendidos, aqui chamada de CAPU e apresentada pela equação (12). Quando comparada com outros *data centers* de mesmo perfil, valores excessivamente elevados desta métrica podem indicar uma má utilização das áreas disponíveis, significando que novas aquisições podem ser evitadas com ações de liberação de áreas já existentes, como

a implantação de políticas de filtros de arquivos, análise de frequência de acesso aos dados, entre outras.

Em função da grandeza de valores geralmente disponibilizada para cada usuário dessas estruturas, nesta métrica as áreas de armazenamento serão expressas em *Gigabytes*, ao contrário das métricas anteriores, onde era utilizada a quantidade de *Terabytes*.

$$CAPU = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i}{\text{NumUsuários}} \quad (12)$$

Onde:

*ÁreaDisponibilizadaStorage* = total de *Gigabytes* disponibilizados pelo equipamento de armazenamento;

*NumUsuários* = total de usuários atendidos por aquele *data center*.

### 3.5 Considerações Acerca das Métricas Escolhidas

O principal intuito de se utilizar o *framework* proposto neste capítulo (Quadro 3.1) é fornecer aos gestores de TI informações importantes sobre que ações representarão maior retorno de investimento sob a ótica do consumo de energia. Confrontando-se a produtividade e as métricas específicas em dois ou mais *data centers*, é possível determinar onde estão as melhores práticas e também estimar os benefícios de se portar estas práticas para outras estruturas. Novos investimentos também podem ser evitados, na medida em que a análise das métricas pode sugerir a migração de serviços de uma estrutura sobrecarregada para outra que esteja mais ociosa.

Quadro 3.1 – Visão Geral das Métricas do *Framework*

Métrica	Unidade	Ambiente	Tipo	Descrição
<b>PUE</b>	Sem dimensão	Infraestrutura	Principal	<b>Efetividade da Energia Utilizada</b> , obtida pela divisão do total de KW consumidos pelos entregues aos equipamentos de TI
<b>DCiE</b>	%	Infraestrutura	Secundária	<b>Eficiência da Infraestrutura do Data Center</b> , obtida do % de KW utilizados pelos equipamentos de TI em relação ao total
<b>PAS</b>	SPEC / KW	Servidor	Principal	<b>Produtividade do Ambiente de Servidores</b> , obtida pelo número de SPEC efetivamente utilizados para cada KW consumido
<b>CPPU</b>	SPEC / Usuário	Servidor	Secundária	<b>Capacidade de Processamento por Usuário</b> , obtida a partir do número de SPEC disponibilizados por usuário
<b>DFS</b>	SPEC / U	Servidor	Secundária	<b>Densidade Física de Servidores</b> , obtida pelo número de SPEC disponibilizados por unidade de <i>rack</i> (U)
<b>IPS</b>	Meses	Servidor	Secundária	<b>Idade Ponderada de Servidores</b> , obtida a partir da média (ponderada pelo número de SPEC) de meses decorridos desde a aquisição dos equipamentos
<b>UGPS</b>	%	Servidor	Secundária	<b>Utilização Geral Ponderada de Servidores</b> , obtida a partir do percentual médio de utilização dos equipamentos, ponderado pelo número de SPEC
<b>PAA</b>	TeraBytes / KW	Armazenamento	Principal	<b>Produtividade do Ambiente de Armazenamento</b> , obtida a partir do número de TeraBytes efetivamente utilizados para cada KW consumido
<b>CAPU</b>	GigaBytes / Usuário	Armazenamento	Secundária	<b>Capacidade de Armazenamento por Usuário</b> , obtida a partir do número de GigaBytes disponibilizados por Usuário
<b>DFA</b>	TeraBytes / U	Armazenamento	Secundária	<b>Densidade Física de Armazenamento</b> , obtida a partir do número de TeraBytes disponibilizados por unidade de <i>rack</i> (U)
<b>IPA</b>	Meses	Armazenamento	Secundária	<b>Idade Ponderada de Armazenamento</b> , obtida a partir da média (ponderada pelo número de TeraBytes) decorridos desde a aquisição dos equipamentos
<b>UGA</b>	%	Armazenamento	Secundária	<b>Utilização Geral de Armazenamento</b> , obtida a partir do percentual médio de utilização dos equipamentos

Para atingir estes objetivos, o processo de escolha e definição do *framework* foi sempre pautado por duas preocupações: as métricas deveriam ser genéricas o suficiente para permitir a comparação entre *data centers*, além de razoavelmente simples, evitando que o custo de obter as métricas ultrapasse os benefícios que estas informações sobre o ambiente

possam trazer. As características específicas de cada ambiente e a dificuldade em normalizar os respectivos indicadores determinaram a divisão do *framework* em três categorias: infraestrutura física, servidores e armazenamento.

Um aspecto importante a ser lembrado ao avaliar a infraestrutura física é a questão da sazonalidade. Apesar das condições ambientais serem intrínsecas a cada localidade e fazerem parte das características do *data center*, sendo inclusive um fator de influência nas fases de projeto, variações destas condições ao longo do ano devem ser levadas em consideração no momento das comparações.

No tocante ao ambiente de servidores, uma questão relativamente polêmica é a efetiva utilidade do processamento executado por estes equipamentos. Para alguns, como The Green Grid (2008), deve ser considerado apenas o trabalho útil e de forma ponderada, ou seja, deve ser excluído todo o processamento que possa ser considerado *overhead* do processo, como por exemplo, o tempo gasto com atividades do sistema operacional. Além disto, para determinar o peso de cada tarefa realizada, se faz necessário uma avaliação do valor daquele trabalho para a organização. Isso claramente dificulta a comparação, uma vez que esta valoração se reveste de grande subjetividade, sendo fortemente impregnada por aspectos culturais e econômicos da cada organização. Como exemplo, duas organizações bem semelhantes poderiam valorar de forma bem diferente o trabalho realizado por seus servidores de correio eletrônico. Diante disto, as métricas aqui apresentadas levam em consideração o nível de utilização dos servidores, independentemente da natureza das tarefas em execução.

Já no ambiente de armazenamento, não resta dúvidas de que as métricas seriam mais representativas caso existisse uma base pública e abrangente de resultados de *benchmarks* que avaliassem os diversos aspectos da prestação deste serviço, tais como desempenho, disponibilidade e tolerância a falhas, entre outros. Foi pensada ainda a adoção de outros critérios para avaliar o nível de utilização, como a idade e a frequência de acesso e modificação dos dados, entretanto a dificuldade de se ponderar estes critérios e do próprio levantamento destas informações, exigindo ferramentas mais elaboradas, iriam de encontro à ideia de simplicidade do *framework*. De qualquer forma, pode-se entender este como um

primeiro passo, sujeito a discussões e sugestões de melhoria das métricas, mas necessário para o devido tratamento deste ambiente.

Outro fator de grande importância para a implantação de uma rotina de medições com estas métricas é a arquitetura dos dispositivos elétricos e a disponibilidade da equipe de suporte a este ambiente. Muitas vezes os elementos de distribuição elétrica não alimentam com exclusividade a estrutura que se deseja medir, sendo necessárias algumas medições indiretas ou mesmo estimativas baseadas em formulações teóricas. Nas novas gerações de equipamentos e componentes, a tendência deve ser que ferramentas de gerenciamento deixem de ser algo raro e se tornem o padrão, de forma que as informações necessárias possam ser facilmente obtidas.

## 4. Caso Prático de Aplicação do *Framework* de Métricas

Com o intuito de demonstrar como determinar os resultados das métricas propostas neste trabalho, este capítulo apresentará um caso prático de utilização do *framework*, abordando os requisitos necessários e dificuldades encontradas neste processo.

Inicialmente, será realizada uma descrição do ambiente avaliado, sobretudo da arquitetura elétrica e dos equipamentos de TI. A seguir, serão abordadas as questões relacionadas ao levantamento de informações do ambiente, inclusive com a sugestão de scripts para obtenção dos dados necessários. De posse das informações levantadas, as métricas serão enfim calculadas e os seus resultados analisados. A Figura 4.1 traz uma representação gráfica do fluxo de informações no processo de determinação das métricas. Por fim, serão realizadas considerações acerca do caso prático e do processo utilizado.

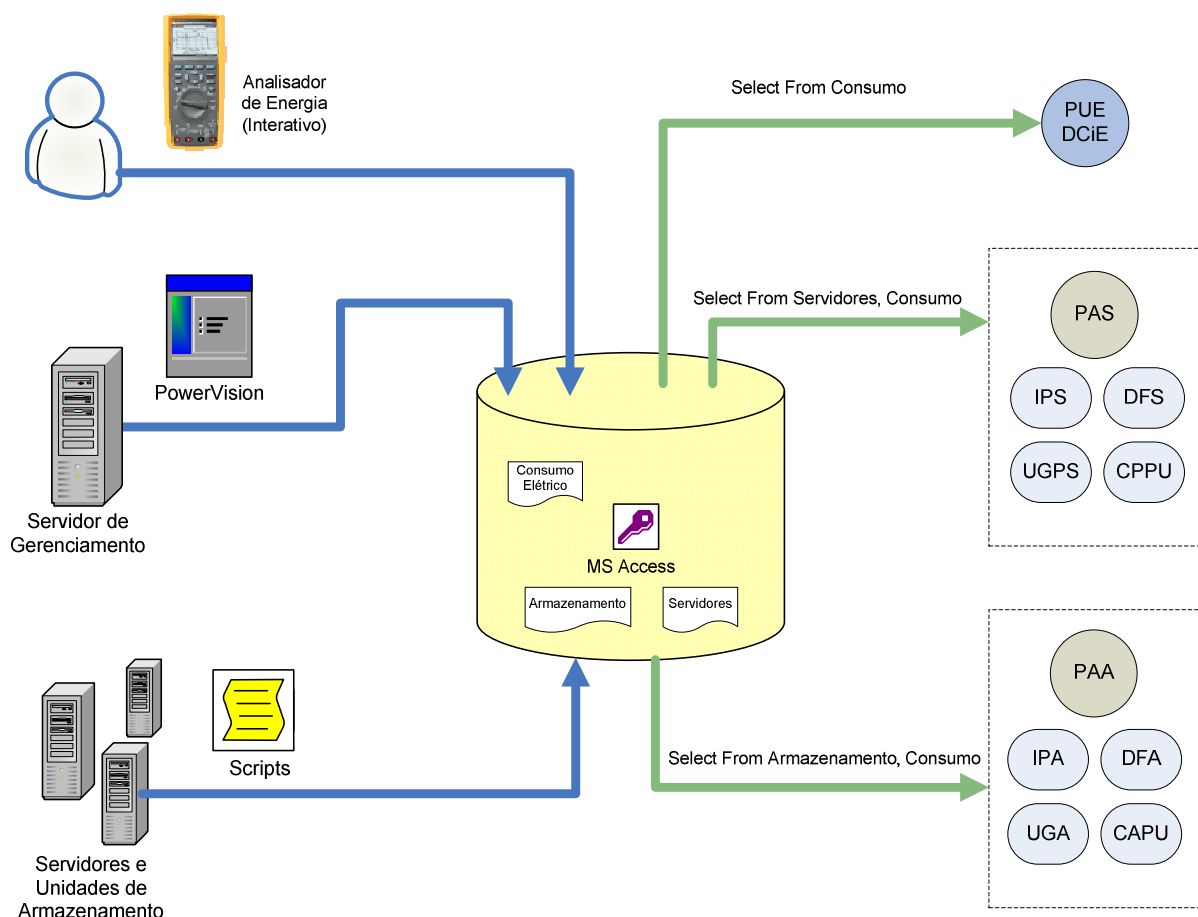


Figura 4.1 – Fluxo de informações no processo de determinação das métricas

## 4.1 Descrição do Ambiente

O ambiente escolhido para este caso prático foi o *data center* de um escritório regional de uma grande organização multinacional<sup>23</sup>, que possui mais de 150.000 usuários, entre funcionários diretos e indiretos. A área de Tecnologia da Informação desta empresa está constantemente preocupada em adotar tecnologias e processos que contribuam para o crescimento sustentável da organização, buscando soluções integradas que agreguem valor às operações e permitam uma otimização de custos, sem perder de vista as questões de responsabilidade social e ambiental. Neste contexto, a implementação de mecanismos de avaliação, como o *framework* proposto neste trabalho, estão bastante alinhados com os anseios da organização.

O levantamento das informações básicas de cada um destes equipamentos foi a tarefa inicial deste caso prático. No período em que as informações foram coletadas, o *data center* avaliado compreendia – para atender seus 4.209 usuários – 98 servidores físicos e 5 unidades de armazenamento. O Quadro 4.1 apresenta a relação simplificada dos servidores, consolidando numa mesma linha os servidores com atributos idênticos (a relação expandida está disponibilizada no Apêndice A), enquanto o Quadro 4.2 traz a relação completa das unidades de armazenamento.

---

<sup>23</sup> Por questões de sigilo comercial, o nome da empresa – e tampouco a localidade do escritório – não será divulgado neste trabalho.

**Quadro 4.1 – Relação de servidores no *data center***

Nome	Marca	Modelo	SPEC2000	Data-Compra
Servidor-1	HP	PROLIANT 5500	5,4	12/09/2000
Servidor-2	SUN	SUNFIRE 3800	32,8	01/01/2002
Servidor-3	SUN	SUNFIRE 3800	32,8	01/01/2002
Servidor-4	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	05/06/2002
Servidor-5	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	05/06/2002
Servidor-6	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	05/06/2002
Servidor-7	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	28/06/2002
Servidor-8	HP	PROLIANT DL580 G1	17,6	02/07/2002
Servidor-9	HP	PROLIANT DL580 G1	17,6	02/07/2002
Servidor-10	DELL	POWEREDGE 2650	16,5	13/12/2002
Servidor-11	DELL	POWEREDGE 2650	16,5	13/12/2002
Servidor-12	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	12/11/2003
Servidor-13	HP	PROLIANT DL580 G2	45,1	12/11/2003
Servidor-14 até Servidor-18	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	12/11/2003
Servidor-19	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	29/01/2004
Servidor-20	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	18/06/2004
Servidor-21 até Servidor-30	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-31	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	10/08/2004
Servidor-32	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	10/08/2004
Servidor-33	HP	PROLIANT DL580 G2	59	10/08/2004
Servidor-34	HP	PROLIANT DL580 G2	59	10/08/2004
Servidor-35	HP	PROLIANT DL580 G2	45,1	23/11/2004
Servidor-36	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	23/11/2004
Servidor-37	HP	PROLIANT DL580 G2	45,1	23/11/2004
Servidor-38	HP	PROLIANT DL580 G2	45,1	23/11/2004
Servidor-39	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	23/11/2004
Servidor-40 até Servidor-53	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-54 até Servidor-60	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-61	HP	PROLIANT DL 140 G2	35,6	29/01/2007
Servidor-61 até Servidor-69	IBM	X-3755	143	07/12/2007
Servidor-70 até Servidor-80	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-81 até Servidor-96	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-97	DELL	PRECISION 390	53,7	20/02/2008
Servidor-98	IBM	X-3550	131	19/01/2009

De posse do inventário físico dos servidores ativos, o passo seguinte foi identificar o número de SPEC correspondente a cada tipo de *hardware* utilizado. Apesar de a ideia inicial ser utilizar o conjunto de resultados do SPEC2006\_int\_rate\_base<sup>24</sup>, foi identificado que boa parte dos modelos de servidores encontrados neste *data center* não

---

<sup>24</sup> Resultados do SPEC 2006 disponíveis em <http://www.spec.org/cpu2006/results/rint2006.html>, acessados em 20/07/2009



constava nesta relação, ao contrário do que ocorria com o conjunto de resultados do SPEC2000\_int\_rate\_base<sup>25</sup>. Diante disto, apesar de novos valores não serem incluídos no SPEC2000 desde 2008, quando o pacote de avaliação foi descontinuado e substituído pelo SPEC2006, a utilização deste conjunto se mostrou mais adequada por evitar a necessidade de um grande número de equivalências entre equipamentos semelhantes. Vale ressaltar que comparações das métricas entre diferentes *data centers* somente devem ser realizadas em levantamentos que utilizem a mesma base de valores de SPEC.

**Quadro 4.2 – Relação de unidades de armazenamento no *data center***

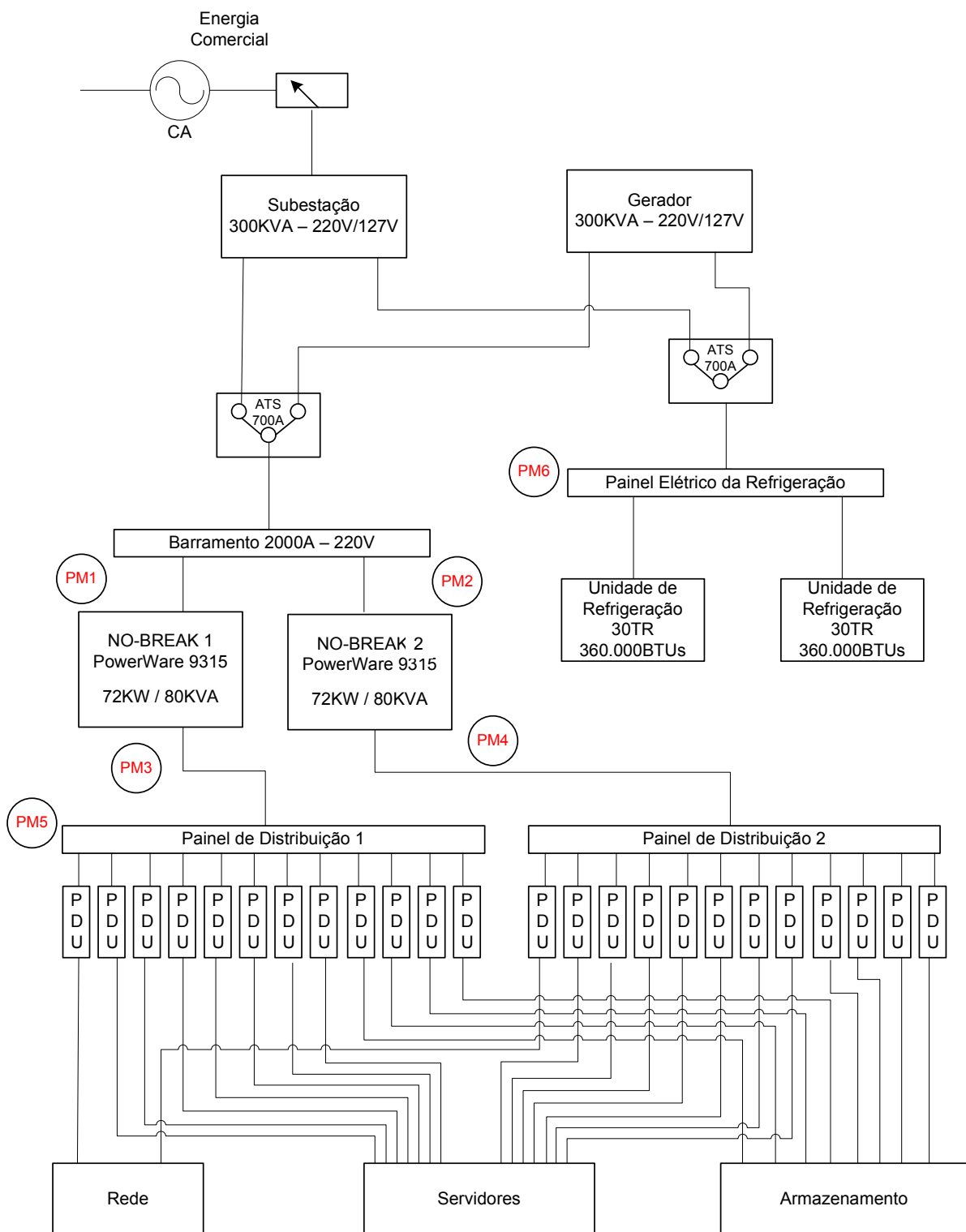
Nome	Tipo	Equipamento	Líquido (TB)	Utilizado (TB)	DataCompra
Storage1	NAS	NetApp FAS3050C	26,27	11,04	11/11/2005
Storage2	NAS	NetApp FAS3050C	23,66	7,42	11/11/2005
Storage3	NAS	NetApp FAS250	0,6	0,36	11/11/2005
Storage4	NAS	NetApp FAS6030	35,72	16,55	03/07/2007
Storage5	SAN	EMC Symmetrix DMX-4	15,24	9,17	30/03/2008

Uma característica interessante da estrutura avaliada é que, de forma semelhante aos demais centros de TI da organização, foi realizado um intensivo trabalho de virtualização de equipamentos por meio do ambiente VMWare ESX<sup>26</sup>. Com isso, existem atualmente 67 servidores virtuais ocupando apenas 4 servidores físicos, o que fornece maior flexibilidade na administração do ambiente e no atendimento de novas demandas de clientes, além de resultar numa utilização mais otimizada dos recursos disponíveis.

---

<sup>25</sup> Resultados do SPEC 2000 disponíveis em <http://www.spec.org/cpu2000/results/rint2000.html>, acessados em 20/07/2009

<sup>26</sup> Sistema operacional utilizado em ambientes de virtualização da VMWare (<http://www.vmware.com>)



**Figura 4.2 – Diagrama de blocos da arquitetura elétrica do data center**

A arquitetura elétrica do *data center* avaliado é apresentada na Figura 4.2. A energia comercial proveniente da operadora pública é contabilizada no ponto de entrada do imóvel de mais de 20.000 m<sup>2</sup>, que além da estrutura de TI, compreende ainda uma série de prédios de escritório, incluindo oficinas mecânicas, elétricas e de pintura. Antes de chegar aos dois *no-breaks* – também chamados de UPS (*Uninterruptible Power System*) – a energia passa na subestação local por um transformador de 300KVA. Esses *no-breaks*, com capacidade de 80 KVA (aproximadamente 72KW) cada um, garantem a qualidade da energia entregue aos equipamentos de TI e trabalham em paralelo, com uma carga inferior a 50% de sua capacidade total, mantendo a continuidade operacional mesmo que uma dessas unidades deixe de funcionar. Além disto, suas baterias suportam a interrupção da alimentação elétrica comercial por cerca de 20 minutos, tempo suficiente para o acionamento do gerador, que garante a contingência em casos de interrupções elétricas mais duradouras.

Cada *no-break* alimenta separadamente um dos quadros de distribuição, cujos circuitos fornecem a energia necessária aos equipamentos por meio das PDU (*Power Distribution Units*). Cada *rack* de equipamentos possui PDU alimentadas por circuitos de quadros distintos, de forma que os equipamentos tenham cada uma de suas fontes redundantes alimentadas por *no-breaks* diferentes. Com isso, sob condições normais, as fontes de alimentação redundantes repartirão igualmente a responsabilidade de fornecer energia a cada equipamento, resultando em cargas bastante semelhantes nos dois *no-breaks*. Em situações de falha, uma das fontes será obrigada a atuar sozinha, fazendo com que um dos *no-breaks* apresente um percentual maior da carga compartilhada, podendo chegar a até 100% da carga no caso da falha ocorrer em um dos *no-breaks*.

## 4.2 Levantamento de Informações de Utilização e Consumo

Por ser altamente dependente das ferramentas disponíveis, como também da arquitetura e do nível de inteligência dos equipamentos instalados, sobretudo daqueles que compõem o sistema elétrico, a heterogeneidade entre diferentes *data centers* torna esta etapa do processo a mais difícil de ser padronizada. Diante disto, para iniciar a rotina de medições é

necessário realizar uma análise prévia da estrutura para determinar os melhores pontos de medição e os períodos correspondentes.

No caso prático em questão, as informações necessárias foram - sempre que possível - obtidas a partir de ferramentas de gerência de rede (elétrica ou de TI), simplificando o processo de coleta, uma vez que não era necessária a intervenção humana. Onde isto não foi possível, foram utilizados equipamentos de medição elétrica ou desenvolvidos *scripts* de consulta aos equipamentos de TI.

Em alguns casos, a indisponibilidade ou mesmo a complexidade logística para se obter com precisão todos os elementos necessários aos cálculos das métricas torna necessária a utilização de estimativas, sejam elas teóricas ou deduzidas por medições indiretas. Apesar destas estimativas eventualmente poderem significar uma pequena perda de precisão no cálculo das métricas, muitas vezes os custos para se adaptar a estrutura podem ser muito significativos. Neste sentido, cabe então a cada organização determinar que nível de acurácia será mais adequado e os investimentos que podem ser realizados para tal.

Voltando ao caso específico, as medições concentraram-se inicialmente nos dados necessários para as métricas de infraestrutura, levando-se em consideração o período de 15/06/2009 a 22/06/2009, com amostras em intervalos de 10 minutos.

Enquanto as informações de entrada e saída dos no-breaks (pontos de medição PM1 a PM4 na Figura 4.2) estavam disponíveis na ferramenta de gerência PowerVision<sup>27</sup>, as amostras referentes ao sistema de refrigeração (ponto de medição PM6 na Figura 4.2) demandaram a utilização de um monitor de energia<sup>28</sup>, sendo as medições realizadas necessariamente pela equipe de suporte à infraestrutura elétrica. Neste caso, em função da dificuldade logística de manter o equipamento e também os recursos pessoais dedicados a esta

---

<sup>27</sup> Ferramenta de gerenciamento e monitoração de *no-breaks* produzida pela Invensys PowerWare (<http://powerquality.eaton.com/Products-services/Power-Management/Software-Drivers/PowerVision.asp>)

<sup>28</sup> No caso específico, foi utilizado o Analisador de Qualidade de Energia Trifásica Modelo 434 da Fluke (<http://www.fluke.com.br>).

atividade pelo período completo, até por este processo ainda não estar devidamente implantado, foram adquiridas informações suficientes para obter o perfil de utilização de um dia útil e de um dia não-útil, sendo estas informações interpoladas para completar o período de uma semana inteira.

**Quadro 4.3 – Amostras da coleta de informações de utilização de potência**

<b>DataHora</b>	<b>EquipTI KW</b>	<b>Total KW</b>
15/6/09 0:00	53,79	105,84
15/6/09 0:10	53,79	105,65
15/6/09 0:20	53,74	105,65
15/6/09 0:30	53,56	105,52
15/6/09 0:40	53,61	105,52
15/6/09 0:50	53,6	105,43
15/6/09 1:00	53,83	105,69
15/6/09 1:10	53,88	105,78
.	.	.
.	.	.
.	.	.
18/6/09 8:50	54,47	109,64
18/6/09 9:00	54,35	110,05
18/6/09 9:10	54,45	109,53
18/6/09 9:20	54,47	110,19
18/6/09 9:30	54,38	110,32
18/6/09 9:40	54,56	110,89
18/6/09 9:50	54,5	111,05
18/6/09 10:00	54,3	110,36
.	.	.
.	.	.
.	.	.
21/6/09 21:50	53,24	105,68
21/6/09 22:00	53,39	105,82
21/6/09 22:10	53,33	105,84
21/6/09 22:20	53,4	105,64
21/6/09 22:30	53,36	105,93
21/6/09 22:40	53,2	105,48
21/6/09 22:50	53,31	105,49
21/6/09 23:00	53,42	105,68
21/6/09 23:10	53,33	105,36
21/6/09 23:20	53,4	105,36
21/6/09 23:30	53,38	105,47
21/6/09 23:40	53,35	105,38
21/6/09 23:50	53,44	105,5

A partir dos dados medidos, para determinar a potência total e a potência efetivamente entregue aos equipamentos de TI, foi necessário realizar, respectivamente, estimativas de perdas de 2% no transformador e 5% nas PDU (RASMUSSEN, 2006a). Esta situação poderia ser evitada caso houvesse uma unidade de leitura específica antes do transformador e, no segundo caso, se fossem utilizadas PDU inteligentes que, de forma semelhante aos *no-breaks*, enviassem para uma ferramenta de gerência seus dados de nível de utilização. O Quadro 4.3 apresenta um subconjunto das 1008 amostras utilizadas para o cálculo das métricas de infraestrutura.

Para determinar as métricas de produtividade dos ambientes de servidores e de armazenamento, era necessário determinar quanto era consumido por cada um desses ambientes separadamente. Novamente, a não utilização de PDU inteligentes dificultou a aquisição de informações, pois exigiria que a medição fosse realizada interativamente em diversos pontos ao mesmo tempo. A solução de contorno para esta situação foi realizar medições individuais nos circuitos de um dos quadros (ponto de medição PM5 na Figura 4.2), de forma a identificar uma distribuição percentual padrão entre os ambientes. Novamente utilizando um monitor de energia<sup>29</sup>, foram obtidas 16 amostras de cada circuito que alimentasse os equipamentos de armazenamento ou os elementos de rede, além do total de potência de entrada do quadro, permitindo que a potência entregue aos servidores fosse deduzida.

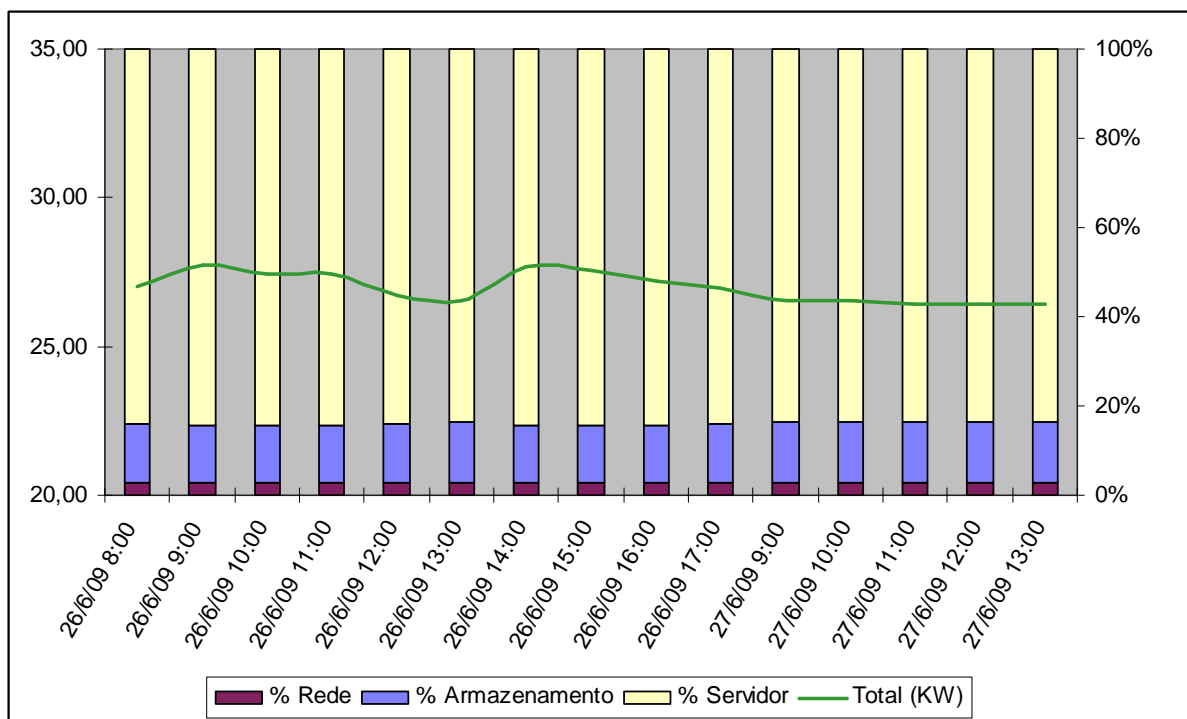
---

<sup>29</sup> No caso específico, foi utilizado o Analisador de Qualidade de Energia Trifásica Modelo 434 da Fluke (<http://www.fluke.com.br>).

**Quadro 4.4 – Distribuição da Utilização de Potência entre os Ambientes de TI**

Horário	Rede		Armazenamento		Servidor		Total (KW)
	(KW)	%	(KW)	%	(KW)	%	
26/6/09 8:00	0,74	2,73	3,57	13,19	22,74	84,08	27,05
26/6/09 9:00	0,76	2,74	3,63	13,08	23,37	84,19	27,76
26/6/09 10:00	0,75	2,73	3,59	13,07	23,12	84,20	27,46
26/6/09 11:00	0,75	2,72	3,60	13,11	23,10	84,16	27,45
26/6/09 12:00	0,73	2,73	3,57	13,37	22,40	83,90	26,70
26/6/09 13:00	0,74	2,78	3,54	13,35	22,23	83,86	26,51
26/6/09 14:00	0,76	2,75	3,62	13,08	23,30	84,18	27,68
26/6/09 15:00	0,75	2,72	3,61	13,10	23,20	84,18	27,56
26/6/09 16:00	0,74	2,72	3,56	13,09	22,89	84,19	27,19
26/6/09 17:00	0,74	2,74	3,56	13,18	22,69	84,08	26,99
27/6/09 9:00	0,74	2,78	3,54	13,35	22,24	83,87	26,52
27/6/09 10:00	0,74	2,78	3,54	13,35	22,23	83,86	26,51
27/6/09 11:00	0,72	2,72	3,53	13,36	22,18	83,92	26,43
27/6/09 12:00	0,73	2,77	3,53	13,38	22,13	83,86	26,39
27/6/09 13:00	0,72	2,73	3,53	13,37	22,16	83,91	26,41
<b>Médias</b>	<b>0,74</b>	<b>2,74</b>	<b>3,57</b>	<b>13,23</b>	<b>22,67</b>	<b>84,03</b>	<b>26,97</b>

Os resultados obtidos podem ser verificados no Quadro 4.4. Como pode ser observado no gráfico apresentado na Figura 4.3, mesmo diante de variações no total da potência entregue aos equipamentos de TI, há uma distribuição relativamente estável entre os ambientes. Com isso, foi possível ampliar significativamente o número de registros sobre a potência entregue a cada ambiente sem a necessidade de novas medições, sendo estes valores obtidos aplicando-se o percentual correspondente a cada ambiente aos valores de total de potência de saída dos *no-breaks*, oriundos das amostras obtidas a partir do PowerVision.



**Figura 4.3 – Distribuição da utilização de potência entre os ambientes de TI**

No caso específico do ambiente de servidores, cujos níveis de utilização de cada equipamento podem apresentar grande variação ao longo do período desejado de uma semana, o objetivo foi adquirir amostras destas informações para o período 29/06/2009 a 06/07/2009, também com intervalos de 10 minutos. A alternativa mais prática seria obtê-los a partir de ferramentas de gerência de rede, como o Nagios<sup>30</sup>, por exemplo. Entretanto, até como uma forma de facilitar a coleta em estruturas que não disponham destas ferramentas, foram desenvolvidos *scripts* (apresentados no Apêndice B) para a obtenção de valores de contadores de sistema operacional. Um pequeno exemplo – de um total de 96.996 – das amostras obtidas pode ser visualizado no Quadro 4.5. Conforme explicado no Capítulo 3, o nível de utilização do equipamento será o maior valor entre CPU e memória, sendo este resultado aplicado ao número de SPEC daquele equipamento para se obter os SPEC utilizados, que em última instância é o produto que entrará no somatório do numerador da fórmula de produtividade do ambiente de servidores.

<sup>30</sup> <http://www.nagios.org>



**Quadro 4.5 – Amostras dos Registros de Utilização de Servidores**

Servidor	DataHora	CPU	Memória	Utilização	SPEC_Utilizados
Servidor-29	29/6/09 15:00	1,75	22,93	22,93	5,66371
Servidor-86	29/6/09 15:00	1,5	44,68	44,68	58,5308
Servidor-14	29/6/09 15:00	2	28,66	28,66	7,07902
Servidor-62	29/6/09 15:00	31,27	31	31,27	44,7161
Servidor-67	29/6/09 15:00	42,24	24	42,24	60,4032
Servidor-68	29/6/09 15:00	28,25	3,55	28,25	40,3975
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
Servidor-59	1/7/09 0:40	64	39,23	64	19,072
Servidor-56	1/7/09 0:40	8,4	64,863	64,863	19,329174
Servidor-84	1/7/09 0:50	2,38	41,94	41,94	54,9414
Servidor-18	1/7/09 0:50	1,5	65,54	65,54	16,18838
Servidor-86	1/7/09 0:50	1,12	44,11	44,11	57,7841
Servidor-51	1/7/09 0:50	15,25	69,49	69,49	20,70802
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
Servidor-2	4/7/09 7:30	38,95	90,4	90,4	29,6512
Servidor-3	4/7/09 7:30	35,06	81,36	81,36	26,68608
Servidor-56	4/7/09 7:30	31,2	52,794	52,794	15,732612
Servidor-97	4/7/09 7:30	1	50,4	50,4	27,0648
Servidor-1	4/7/09 7:30	0	41,73	41,73	2,25342
Servidor-32	4/7/09 7:30	1,7	60,82	60,82	15,02254
Servidor-67	4/7/09 7:40	32,37	30	32,37	46,2891
Servidor-40	4/7/09 7:40	0,08	4,39	4,39	1,30822
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
Servidor-42	6/7/09 14:50	19,25	79,53	79,53	23,69994
Servidor-39	6/7/09 14:50	5,79	18,55	18,55	4,58185
Servidor-25	6/7/09 14:50	10,05	14,23	14,23	3,51481
Servidor-27	6/7/09 14:50	7,84	27,95	27,95	6,90365
Servidor-9	6/7/09 14:50	41,25	38,27	41,25	7,26
Servidor-66	6/7/09 14:50	0,5	8,99	8,99	12,8557

Já para o ambiente de armazenamento, como os níveis de ocupação não apresentam grande variação num período de uma semana, foram utilizados os valores coletados no dia 03/07/2009 (apresentados no Quadro 4.2) e a potência utilizada foi obtida aplicando o percentual correspondente a este ambiente sobre a média de potência de saída dos *no-breaks* neste mesmo dia.

## 4.3 Obtenção dos Resultados das Métricas

Uma vez coletadas todas as informações necessárias, o passo seguinte foi importar estes dados para tabelas do Microsoft Access, de forma que cada métrica pudesse ser rapidamente calculada por meio de consultas ao banco de dados criado para este fim, como poderá ser observado nos subtópicos a seguir.

### 4.3.1 Efetividade da Energia Utilizada

Para calcular a PUE (*Power Usage Effectiveness*) do *data center* avaliado, foi utilizada a expressão (1) apresentada no Capítulo 3, utilizando as médias dos valores de potência total e efetivamente entregue aos equipamentos de TI obtidos a partir das amostras em intervalos de 10 minutos carregadas para a tabela Amstras\_Infra (Quadro 4.3).

$$PUE = \frac{PotênciaTotal}{PotênciaEquipTI}$$

$$PUE = \frac{107,30}{53,78} = 1,99$$

Este resultado significa que a energia total utilizada é praticamente o dobro da energia utilizada pelos equipamentos de TI, ou seja, para cada unidade de potência efetivamente entregue aos equipamentos de TI, uma quantidade bem semelhante é utilizada para refrigeração e condicionamento de energia. O valor encontrado na estrutura avaliada pode ser considerado muito bom quando comparado com referências similares. Brill (2007) relata uma pesquisa realizada com 85 membros do Uptime Institute, onde o valor médio encontrado para uma métrica análoga foi de 2,5. Já em Rasmussen (2006b), afirma-se que em um *data center* típico, apenas 30% da energia total é entregue aos equipamentos de TI, o que significa uma PUE de 3,33, ou seja, razoavelmente pior que o resultado encontrado na estrutura avaliada.

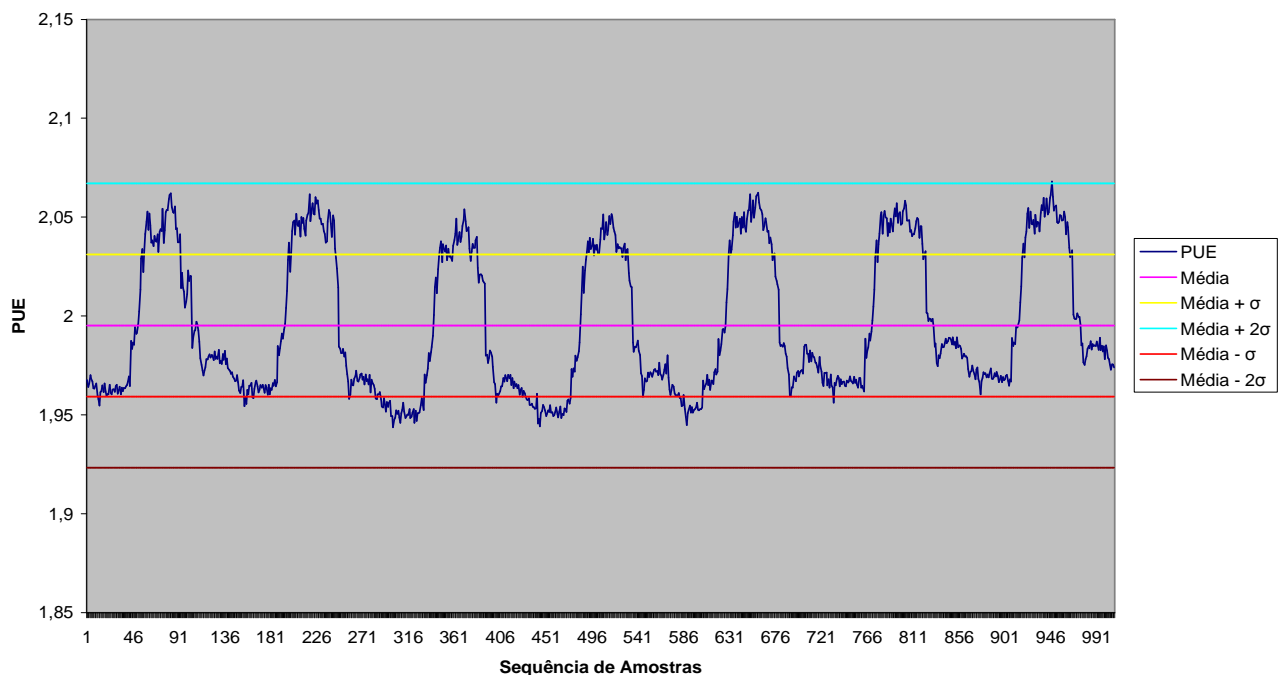
Para se chegar ao valor apresentado para a PUE, a seguinte consulta foi realizada no banco de dados do Microsoft Access:

```
SELECT
Avg([Amostras_Infra].[Total KW])/Avg([Amostras_Infra].[EquipTI KW])
AS PUE
FROM Amostras_Infra;
```

Foi realizada também uma análise estatística da variação da PUE ao longo do tempo dos valores de PUE encontrados para cada um dos 1008 intervalos avaliados (Quadro 4.3). Para tal, foi realizada a consulta abaixo, cujos resultados serviram de insumo para o gráfico apresentado na Figura 4.4.

```
SELECT
Amostras_Infra.DataHora,
Amostras_Infra.[Total KW]/Amostras_Infra.[EquipTI KW]
AS PUE
FROM Amostras_Infra;
```

A análise estatística permite validar o conjunto de dados capturados no processo de determinação da PUE, avaliando a distribuição dos resultados em relação à média e ao desvio padrão (TIPLEY, 2009). Dos 1008 resultados obtidos, 60% ficaram no intervalo  $média \pm \sigma$  (desvio padrão), enquanto praticamente 100% deles estavam no intervalo  $média \pm 2\sigma$ . A conclusão que pode ser feita a partir destas análises é que a distribuição estudada apresenta valores dentro da margem de erro aceitável, conforme preconiza o teorema de Chebyshev, que determina que distribuições randômicas devem apresentar no mínimo 75% dos seus valores no intervalo  $média \pm 2\sigma$  (MAGALHÃES, 2004).



**Figura 4.4 – Distribuição da PUE ao longo do tempo**

Como pode ser também observado na Figura 4.4, a variação nos valores da PUE seguiram um padrão de ondas, onde os picos superiores representam o comportamento ao longo do dia, enquanto nos horários noturnos os valores se aproximam do mínimo. Isto se deve ao fato do sistema de refrigeração apresentar maior consumo elétrico durante o dia, sendo mais exigido tanto pelo maior nível de utilização nos equipamentos – em horário de expediente – representar mais calor no ambiente interno, como em função destes períodos normalmente apresentarem temperaturas externas mais altas.

### 4.3.2 Eficiência da Infraestrutura do *Data Center*

Seguindo o mesmo princípio da métrica anterior, a DCiE (*Data Center Efficiency*) foi calculada a partir da expressão (2) apresentada no Capítulo 3, utilizando as médias dos valores de potência total e efetivamente entregue aos equipamentos de TI obtidos a partir das amostras em intervalos de 10 minutos carregadas para a tabela Amostrs\_Infra (Quadro 4.3).

$$DCiE = \frac{PotênciaEquipTI}{PotênciaTotal}$$

$$DCiE = \frac{53,78}{107,30} * 100\% = 50,12\%$$

Uma vez que esta métrica é a recíproca da PUE, as conclusões e análises estatísticas feitas para aquela métrica são perfeitamente aceitáveis para esta métrica também. Realizando a consulta abaixo, a DCiE pode também ser obtida diretamente.

```
SELECT
Avg([Amostras_Infra]![EquipTI KW])/ Avg([Amostras_Infra]![Total KW])*100
AS DCiE
FROM Amostras_Infra;
```

#### 4.3.3 Produtividade do Ambiente de Servidores

Conforme a expressão (3) do Capítulo 3, a PAS (Produtividade do Ambiente de Servidores) traz como resultado o número de SPEC efetivamente utilizados pelos serviços e aplicações para cada KW entregue aos servidores do *data center*, incluindo a fatia correspondente às infraestruturas elétrica e de refrigeração. Para chegar a estes valores, foi necessário realizar um cruzamento entre as informações de utilização dos servidores (Quadro 4.5) com a respectiva potência utilizada, obtida aplicando-se o percentual determinado no Quadro 4.4 aos valores encontrados na ferramenta de gerenciamento PowerVision.

$$PAS = \frac{\sum_{i=1}^n SPEC_{Serv_i} * Utilização_{Serv_i}}{Potência_{Servidores} * PUE}$$

$$PAS = \frac{1823,72}{45,96 * 1,99} = 19,94$$

Oriundos da nota obtida por cada servidor no *benchmark* de CPU do *Standard Performance Evaluation Corporation* (SPEC), que são calculados por meio de operações que estressam basicamente os subsistemas de CPU e memória, de forma a estimar o desempenho daquele servidor, os SPEC são aqui transformados em unidades de valor e utilizados no cálculo da produtividade.

Diante disto, utilizando o respectivo número absoluto de SPEC como a potencialidade de cada servidor, é possível dizer que, para cada KW consumido no período analisado, 19,94 SPEC foram efetivamente utilizados. Para chegar ao resultado acima, foram realizadas duas consultas ao banco de dados. A primeira delas aparece logo a seguir e teve como resultado o valor da PAS ao longo do período avaliado (29/06/2009 a 06/07/2009) com intervalos de 10 minutos.

```
SELECT
Amostras_Servidores.DataHora,
Sum(Amostras_Servidores.SPECs_Utilizados) /
((SELECT Consumo_Servidores.Consumo
FROM Consumo_Servidores
WHERE Amostras_Servidores.DataHora = Consumo_Servidores.DataHora) *
(SELECT [PUE-DCiE Resultado].PUE FROM [PUE-DCiE Resultado]))
AS PAS
FROM Amostras_Servidores
GROUP BY Amostras_Servidores.DataHora;
```

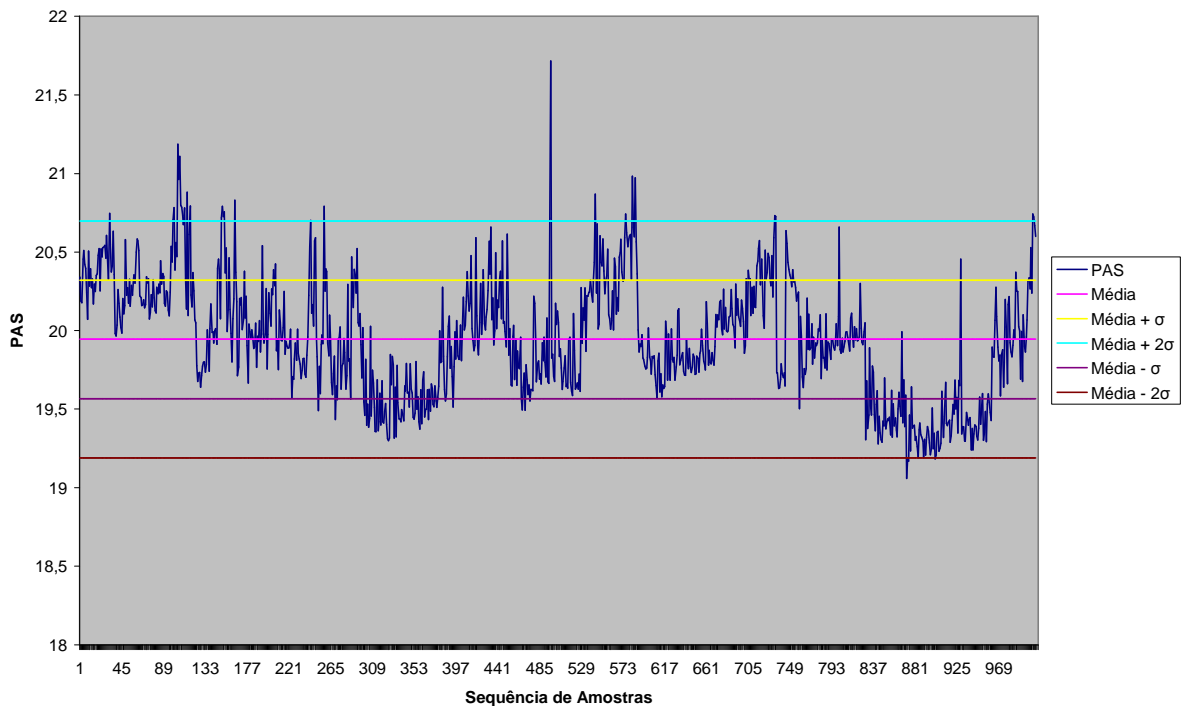
A partir dos resultados da consulta acima, uma nova consulta foi realizada, tendo enfim como resultado o valor consolidado da produtividade do ambiente. Uma vez que esta métrica está sendo inicialmente proposta neste trabalho, não há parâmetros de referência reais para avaliar o resultado obtido no *data center* avaliado.

```

SELECT
Avg([PAS por Amostra].PAS)
AS PAS
FROM [PAS por Amostra];

```

Por outro lado, com os resultados da primeira consulta, foi possível se fazer uma análise estatística semelhante àquela realizada para a PUE. Dessa vez, dos 1008 resultados obtidos, pouco mais de 66% ficaram no intervalo média  $\pm \sigma$  (desvio padrão) e quase 97% deles estavam no intervalo média  $\pm 2\sigma$ . Novamente, a conclusão é que a distribuição estudada apresenta valores dentro da margem de erro aceitável, conforme o teorema de Chebshev, (MAGALHÃES, 2004).



**Figura 4.5 – Distribuição da PAS ao longo do tempo**

Outra alternativa para permitir inferências qualitativas a respeito do resultado obtido seria utilizar cenários hipotéticos, agregando informações cruzadas dos *benchmarks* de CPU e *power* do SPEC. Para se ter uma idéia, num cenário próximo da perfeição, onde a PUE seria igual a 1, o nível de utilização seria 100% e utilizando somente servidores que apresentem altos níveis de eficiência, o resultado aproximado da PAS seria 500. Imaginando

um outro cenário, mais próximo da realidade, mas ainda considerando características ótimas, como PUE de 1,5 e níveis de utilização de 60%, a PAS seria em torno de 195. Diante destes valores, à primeira vista é possível afirmar que o valor de produtividade encontrado no *data center* avaliado pode ser considerado baixo, entretanto, a própria diferença entre os cenários considerados ótimos mostra que a métrica é bastante sensível, apresentando grande variância. Um terceiro cenário, mais próximo de um *data center* típico, foi então considerado.

Desta vez, seriam utilizados equipamentos com níveis de eficiência convencionais, o valor da PUE seria 2,5 (BRILL, 2007) e o nível de utilização em torno de 30% (STANLEY et. al., 2007). Neste cenário médio, o valor da PAS seria um pouco maior que 18. Logo, quando comparado a situações mais próximas aos *data centers* convencionais, onde não será raro encontrar servidores ociosos mantendo aplicações legadas, o resultado obtido pelo *data center* avaliado pode ser considerado mediano, mas fica claro que há uma boa margem de melhorias que podem trazer resultados bastante significativos.

#### 4.3.4 Idade Ponderada de Servidores

A IPS (Idade Ponderada de Servidores) sintetiza, para o ambiente de servidores de forma geral, a quantidade média de meses decorridos entre a data em que está sendo calculada a métrica e a data de compra de cada servidor, considerando a potencialidade de cada um a partir do número de SPECs correspondente. Vale ressaltar que, nos casos onde eventualmente um servidor seja negociado de uma estrutura para outra, deve ser considerada a data de primeira compra. A partir da fórmula apresentada na expressão (4) do Capítulo 3, foi obtido o seguinte resultado para esta métrica:

$$IPS = \frac{\sum_{i=1}^n SPECServ_i * IdadeServ_i}{\sum_{i=1}^n SPECServ_i}$$

$$IPS = \frac{205722,6}{7300,4} = 28,18$$



Vale destacar que IPS difere da idade média dos servidores, na medida em que se leva em consideração o número de SPECs que cada servidor está fornecendo. Para se ter uma ideia, a idade média simples dos servidores da estrutura avaliada é de quase 45 meses. Para se chegar ao valor de 28,18 para esta métrica, a seguinte consulta deve ser realizada no banco de dados:

```
SELECT  
Sum(DateDiff("m",Servidores![Data-Compra],Now())) *  
Servidores!SPEC2000/Sum(Servidores.SPEC2000)  
AS IPS  
FROM Servidores;
```

A idade ponderada dos servidores repercute na produtividade do ambiente na medida em que evoluções tecnológicas ao longo do tempo têm resultado em servidores mais eficientes, ou seja, valores menores de IPS devem contribuir positivamente para a métrica principal (PAS). Como forma de evidenciar a influência deste indicador na PAS, foi simulada a permuta dos servidores HP Proliant DL360 G2 por servidores HP Proliant DL360 G4, ambos com dimensões físicas idênticas.

Com essa mudança, o novo valor da IPS passaria a ser 27,85. Apesar das ferramentas utilizadas não possibilitarem determinar com precisão o impacto numérico na PAS em função de não apresentarem os consumos individuais (a utilização de PDU gerenciáveis seria uma solução para esta restrição), a influência positiva desta mudança pode ser verificada quando se leva em consideração que a razão entre o número de SPEC – que estão no numerador da fórmula – dos dois modelos é 2,16 (Quadro 4.1), enquanto os requisitos de consumo nominais obtidos a partir do HP Power Calculator<sup>31</sup> aumentaram de 267W para 428W, ou seja, um aumento da ordem de apenas 1,6 – quando comparado aos 2,16 do aumento de SPEC – na fatia correspondente a estes servidores na utilização de potência, que por sua vez está presente no denominador da expressão de PAS.

---

<sup>31</sup> Ferramenta que apresenta estimativas de requisitos de energia para modelos de servidores HP Proliant (<http://h30099.www3.hp.com/configurator/powercalcs.asp>)

#### 4.3.5 Densidade Física de Servidores

A DFS (Densidade Física de Servidores), por sua vez, reflete a quantidade média de SPEC disponibilizados por unidade de *rack* presente no ambiente. A partir da fórmula apresentada na expressão (5) do Capítulo 3, foi obtido o seguinte resultado para esta métrica:

$$DFS = \frac{\sum_{i=1}^n SPEC_{Serv_i}}{EspaçoUtilizado}$$

$$DFS = \frac{7300,4}{214} = 34,13$$

Para se chegar ao valor acima, a seguinte consulta foi realizada no banco de dados:

```
SELECT  
Sum([Servidores]![SPEC2000])/Sum([Servidores]![Unidades de Rack])  
AS DFS  
FROM Servidores;
```

De forma semelhante à idade do ambiente, o impacto da densidade física na produtividade do ambiente ocorre na medida em que evoluções tecnológicas têm propiciado a miniaturização e otimização de componentes, resultando em equipamentos mais compactos e energeticamente eficientes. Sendo assim, quando mais SPEC são disponibilizados por unidade de rack, maior será a DFS, o que deve contribuir positivamente para a métrica principal (PAS). Como forma de evidenciar a influência deste indicador na PAS, desta vez foi simulada a substituição dos servidores IBM x3755 por servidores IBM x3550, que foram adquiridos na mesma época, mas também existentes no ambiente.

Com essa mudança, o novo valor da DFS seria 37,94. Pelo mesmo motivo relatado na métrica anterior, também aqui não será possível medir com precisão qual seria o novo valor da PAS, mas fica claro que a métrica principal também aumentará quando se leva em consideração que o denominador da expressão correspondente sofrerá uma redução maior

que o numerador. A razão entre o número de SPEC – que estão no numerador da fórmula – dos dois modelos é 0,92 (Quadro 4.1), enquanto os requisitos nominais de consumo – obtidos a partir da IBM Power Configurator<sup>32</sup> – diminuem de 574W para 327W, o que daria uma relação de 0,57 sendo aplicada à fatia correspondente a estes servidores no consumo do ambiente, que é uma variável do denominador.

#### 4.3.6 Utilização Geral Ponderada de Servidores

A UGPS (Utilização Geral Ponderada de Servidores) traz como resultado não apenas uma média simples do nível de utilização dos servidores, mas sim uma média ponderada, levando em consideração a capacidade contributiva de cada servidor para o número de SPEC do ambiente como um todo. Para calcular esta métrica, foi utilizada a fórmula apresentada na expressão (6) do Capítulo 3, obtendo o seguinte resultado:

$$UGPS = \frac{\sum_{i=1}^n SPEC_{Serv_i} * Utilização_{Serv_i}}{\sum_{i=1}^n SPEC_{Serv_i}}$$

$$UGPS = \frac{182875,02}{7300,4} = 25,05$$

Para chegar ao resultado acima, foram realizadas duas consultas no banco de dados. A primeira delas aparece logo a seguir e teve como resultado o valor da UGPS ao longo do período avaliado (29/06/2009 a 06/07/2009) com intervalos de 10 minutos.

---

<sup>32</sup> Ferramenta da IBM que apresenta estimativas de requisitos de energia para modelos de servidores IBM SystemX e BladeCenter (<http://www-03.ibm.com/systems/bladecenter/resources/powerconfig/>).

```

SELECT
Amostras_Servidores.DataHora,
Sum(Amostras_Servidores.SPECs_Utilizados)*100/
(SELECT Sum(Servidores![SPEC2000]) FROM Servidores)
AS UGPS
FROM Amostras_Servidores
GROUP BY Amostras_Servidores.DataHora;

```

A partir dos resultados da consulta acima, a seguinte consulta foi realizada, tendo enfim a média dos valores da consulta anterior como a utilização geral ponderada do ambiente de servidores.

```

SELECT
Avg([UGPS por Amostra].UGPS)
AS UGPS
FROM [UGPS por Amostra];

```

O efeito desta métrica sobre o indicador de produtividade do ambiente fica evidenciado quando se analisa os resultados obtidos no SPECpower\_ssj2008 por um dos modelos presentes no ambiente. A Figura 4.6 apresenta o comportamento do consumo de energia do modelo IBM x3550 mediante o seu nível de utilização, onde pode ser observado que os níveis de eficiência são maiores quanto maior for o nível de utilização, atingindo o máximo em 100%.

No *data center* avaliado, a média de utilização calculada especificamente para os servidores deste modelo é de aproximadamente 30%. Simulando um acréscimo do nível de utilização para 60%, o que afetaria positivamente a fatia do numerador da PAS referente a estes servidores na ordem de 2 vezes, o comportamento esperado em relação ao consumo seria uma mudança de 140W para 180W, como pode ser observado no gráfico da Figura 4.6. Fica claro o efeito positivo na métrica de produtividade quando se verifica que a parte do denominador da PAS referente a esses servidores aumentaria apenas em 1,29 vezes – em comparação ao dobro do nível de utilização.

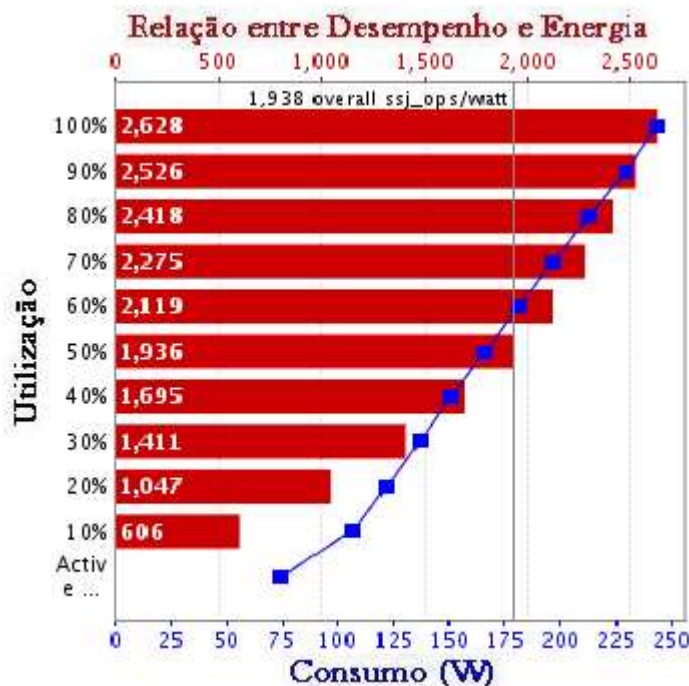


Figura 4.6 – Resultado do IBM x3550 no SPECpower\_ssj2008 (adaptado de SPEC, 2009)

#### 4.3.7 Capacidade de Processamento por Usuário

Conforme a expressão (7) apresentada no Capítulo 3, a CPPU (Capacidade de Processamento Por Usuário) é calculada pela divisão simples da capacidade total do ambiente em SPEC pela quantidade de usuários atendidos pelo *data center*, trazendo como resultado a quantidade de SPEC hipoteticamente dedicados para cada usuário.

$$CPPU = \frac{\sum_{i=1}^n SPEC_{Serv_i}}{NumUsuários}$$

$$CPPU = \frac{7300,4}{4209} = 1,73$$

Para se chegar ao valor acima, a seguinte consulta foi realizada no banco de dados:

```
SELECT  
Sum(Servidores![SPEC2000])/(SELECT InfoGeral.Usuários FROM InfoGeral)  
AS CPPU  
FROM Servidores;
```

Quando se confrontam *data centers* com perfis de serviços semelhantes, a capacidade de processamento por usuário estará fortemente relacionada com o nível de utilização dos servidores. Nestas situações, valores mais elevados na CPPU tendem a significar servidores mais ociosos, afetando negativamente tanto a UGPS quanto a métrica principal (PAS). Como neste trabalho infelizmente não foi possível efetuar a comparação entre estruturas, não há como realizar constatações na prática sobre o efeito desta métrica para a PAS.

#### **4.3.8 Produtividade do Ambiente de Armazenamento**

De acordo com a fórmula da PAA (Produtividade do Ambiente de Armazenamento), apresentada na expressão (8) do Capítulo 3, esta métrica traz como resultado o número de TeraBytes efetivamente utilizados para cada KW entregue ao ambiente de armazenamento do *data center*, levando em conta também o gasto proporcional com os subsistemas elétrico e de refrigeração. Uma vez que, ao contrário do que ocorre com o nível de utilização dos servidores, as áreas ocupadas no ambiente de armazenamento (Quadro 4.2) tendem a se manter estáveis ao longo do período avaliado de uma semana, não foi necessário se obter várias amostras com intervalos curtos, como aconteceu com as métricas de infraestrutura e de servidores. Diante disto, foi utilizado o nível de ocupação encontrado no dia 03/07/2009 e a potência consumida pelo ambiente foi calculada aplicando-se o percentual determinado no Quadro 4.4 à média dos valores encontrados na ferramenta de gerenciamento PowerVision para este mesmo dia.

$$PAA = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaUtilizadaStorage}_i}{\text{PotênciaArmazenamento} * PUE}$$

$$PAA = \frac{44,54}{7,19 * 1,99} = 3,10$$

Para chegar ao resultado acima, foi realizada a seguinte consulta ao banco de dados:

```
SELECT
Sum([Armazenamento].[Utilizado (TB)])/
((SELECT Consumo FROM Consumo_Armazenamento)*
(SELECT [PUE-DCiE Resultado].PUE FROM [PUE-DCiE Resultado]))
AS PAA
FROM Armazenamento;
```

Com isso, é possível dizer que, para cada KW utilizado pelo ambiente de armazenamento, 3,1 TB estão sendo efetivamente ocupados por arquivos de usuários. Como esta métrica também está sendo inicialmente proposta neste trabalho, não há parâmetros reais de referência para avaliar qualitativamente o resultado obtido no *data center* avaliado. Por outro lado, utilizando cenários hipotéticos, é possível realizar inferências de forma semelhante ao que foi feito no ambiente de servidores.

Sendo assim, num cenário próximo da perfeição (PUE = 1 e nível de utilização em 100%), o resultado da PAA – utilizando as unidades de armazenamento existentes no *data center* – seria 15,28. Num outro cenário, ainda com características ótimas, onde a PUE seria 1,5 e o nível de utilização fosse 60%, a PAA seria 6,11, ainda razoavelmente superior ao valor encontrado no *data center* avaliado.

Finalmente, num terceiro cenário, considerado mais próximo de um *data center* típico, foi utilizado um valor de PUE igual a 2,5 (BRILL, 2007) e um nível de utilização em torno de 40%. Neste caso, o resultado da PAA seria 2,45, um resultado bem próximo dos 3,1 do *data center* avaliado. Com isto, é possível afirmar que o ambiente de armazenamento em

questão apresenta boas possibilidades de melhoria, mas não deve estar distante da média encontrada em estruturas similares.

#### 4.3.9 Idade Ponderada de Armazenamento

A IPA (Idade Ponderada de Armazenamento) reflete a quantidade média de meses decorridos entre a data em que está sendo calculada a métrica e a data de compra de cada unidade de armazenamento, considerando a capacidade em TeraBytes disponibilizada por cada uma dessas unidades. Como já citado anteriormente para o ambiente de servidores, nos casos onde eventualmente uma unidade de armazenamento seja negociada de uma estrutura de *data center* para outra, deve ser considerada a data da primeira compra. A partir da fórmula apresentada na expressão (9) do Capítulo 3, foi obtido o seguinte resultado para esta métrica:

$$IPA = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i * \text{IdadeStorage}_i}{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i}$$

$$IPA = \frac{3635,43}{109,87} = 33,09$$

A IPA diferencia-se da média de idade simples das unidades de armazenamento na medida em que leva em consideração o número de TB que cada unidade fornece. Para se ter uma ideia, a idade média simples dos servidores da estrutura avaliada é de 35,4 meses. Para se chegar ao valor de 33,09 para esta métrica, a seguinte consulta deve ser realizada no banco de dados:

```
SELECT
Sum(DateDiff("m",[Armazenamento]![DataCompra],Now()*)
[Armazenamento]![Líquido (TB)]/Sum([Armazenamento]![Líquido (TB)])
AS IPA
FROM Armazenamento;
```



A idade ponderada de armazenamento repercute na produtividade deste ambiente na medida em que evoluções tecnológicas ao longo do tempo têm resultado em equipamentos mais eficientes, ou seja, valores menores de IPA devem contribuir positivamente para a métrica principal (PAA).

Como forma de evidenciar a influência deste indicador na PAA, foi simulada a substituição das unidades NetApp FAS250 e FAS3050 pela unidade FAS6030. Apesar de todas elas utilizarem a arquitetura NAS (Network Attached Storage), enquanto as primeiras utilizam discos de 144GB ou 300GB, a última já utiliza discos de 500GB. Um fator relevante para esta escolha foi que, além de utilizarem a mesma tecnologia e de forma consolidada apresentarem espaços disponibilizados e níveis de ocupação semelhantes, os equipamentos envolvidos na troca ocupam circuitos elétricos de forma exclusiva, permitindo que se determinasse com razoável precisão – pelo mesmo processo utilizado no Quadro 4.4 – o impacto da referida troca no consumo do ambiente.

Com essa mudança, o novo valor da IPA cairia para 23,82, uma redução de 28%. Para fornecerem uma quantidade semelhante de TB, os equipamentos substituídos na simulação utilizavam 3,68KW, enquanto o FAS6030 utiliza apenas 1,28KW. Isto claramente representaria um efeito positivo na PAA, que passaria a ser 4,42, ou seja, um acréscimo de 43,5%. Vale ressaltar que esta simulação não busca inferir uma regra de escalabilidade entre as métricas, visando apenas a demonstrar que a redução da primeira afeta positivamente a segunda.

#### **4.3.10 Densidade Física de Armazenamento**

Por sua vez, a DFA (Densidade Física de Armazenamento) reflete a quantidade média de TeraBytes disponibilizados por unidade de *rack* utilizados pelas unidades de armazenamento. A partir da fórmula apresentada pela expressão (10) do Capítulo 3, o resultado para esta métrica foi então calculado, como pode ser observado a seguir.

$$DFA = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i}{\text{EspaçoFísicoUtilizado}}$$

$$DFA = \frac{109,87}{186} = 0,59$$

Para se chegar ao valor acima, que significa que são 0,59 TB para cada unidade de *rack* ocupada, a seguinte consulta foi realizada no banco de dados:

```
SELECT
Sum(Armazenamento![Líquido (TB)])/Sum(Armazenamento.[Unidades de Rack])
AS DFA
FROM Armazenamento;
```

De forma semelhante à idade do ambiente, o impacto da densidade física na produtividade do ambiente ocorre na medida em que evoluções tecnológicas têm propiciado a miniaturização e otimização de componentes, resultando em equipamentos mais compactos e energeticamente eficientes. Utilizando a mesma simulação feita para a IPA, com a substituição de equipamentos com discos de menor capacidade por um equipamento que utilize discos de maior capacidade – mas que ocupam o mesmo espaço físico – garantem o aumento da densidade física.

Como já calculado no tópico anterior, a mudança representaria um efeito positivo na PAA, que passaria a ser 4,42 (acréscimo de 43,5%), influenciada pelo aumento da DFA, cujo novo valor seria 0,66, ou seja, um acréscimo de 12%. Novamente, cabe esclarecer que esta simulação não permite inferir uma regra de escalabilidade entre as métricas, até porque a mesma simulação afeta mais de uma métrica secundária ao mesmo tempo.

#### 4.3.11 Utilização Geral de Armazenamento

A UGA (Utilização Geral de Armazenamento) traz como resultado o nível de utilização global do ambiente de armazenamento, por meio do percentual de TB efetivamente

utilizados em relação ao total disponibilizado. Para calcular esta métrica, foi utilizada a fórmula apresentada na expressão (11) do Capítulo 3, obtendo o resultado a seguir.

$$UGA = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaUtilizadaStorage}_i}{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i} * 100\%$$

$$UGA = \frac{44,54}{109,87} * 100\% = 40,54\%$$

Para se chegar ao resultado acima, a seguinte consulta foi feita no banco de dados:

```
SELECT
Sum([Armazenamento]![Utilizado (TB)])/
Sum([Armazenamento]![Líquido (TB)])*100
AS UGA
FROM Armazenamento;
```

Não foram encontrados estudos que servissem como referência para determinar o comportamento do consumo elétrico mediante variações do nível de ocupação dessas unidades de armazenamento, até porque não há neste caso uma garantia de que o nível de ocupação seja necessariamente proporcional à intensidade de uso por parte dos usuários, tratando-se apenas de um bom indicativo. Diante disto, uma forma de evidenciar o efeito desta métrica sobre o indicador de produtividade do ambiente seria analisar localmente o consumo para níveis de ocupação razoavelmente distintos. Entretanto, como não houve no período de medições uma mudança significativa nestes níveis, e caso esta fosse provocada artificialmente, provavelmente não seria acompanhada de maior utilização por parte dos usuários. Por outro lado, é possível ponderar que, uma vez que as áreas atualmente ocupadas já estão distribuídas pela maioria dos discos disponíveis, o gasto energético para mantê-los ativos já está incluído no consumo medido, logo, aumentos significativos nos níveis de ocupação seriam acompanhados por aumentos no consumo proporcionalmente menores, o que afetaria positivamente a PAA.

#### 4.3.12 Capacidade de Armazenamento por Usuário

Conforme a expressão (12) apresentada no Capítulo 3, a CAPU (Capacidade de Armazenamento Por Usuário) é calculada pela divisão simples da capacidade total do ambiente GigaBytes (GB) pela quantidade de usuários atendidos pelo *data center*, trazendo como resultado a quantidade de GB hipoteticamente dedicados para cada usuário.

$$CAPU = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ÁreaDisponibilizadaStorage}_i}{\text{NumUsuários}}$$

$$CAPU = \frac{112506,88}{4209} = 26,73$$

Para se chegar ao valor acima, a seguinte consulta foi realizada no banco de dados:

```
SELECT  
Sum(Armazenamento![Líquido (TB)])*1024/  
(SELECT InfoGeral.Usuários FROM InfoGeral)  
AS CAPU  
FROM Armazenamento;
```

Comparando-se *data centers* com perfis de serviços semelhantes, a capacidade de armazenamento por usuário estará fortemente relacionada com o nível de ocupação e de utilização dos equipamentos. Nestas situações, valores mais elevados na CAPU tendem a significar baixos níveis de ocupação, afetando negativamente tanto a UGA quanto a métrica principal (PAA). Como neste trabalho infelizmente não foi possível efetuar a comparação entre estruturas, não há como realizar constatações na prática sobre o efeito desta métrica para a PAA.

## 4.4 Considerações Acerca do Caso Prático

A realização da avaliação apresentada neste capítulo foi uma excelente oportunidade para verificar que tipo de resultados são oferecidos pelo *framework* proposto, sobretudo no tocante às grandezas obtidas a partir das fórmulas sugeridas. Além disto, foi possível constatar na prática o processo de determinação das métricas, iniciando pela análise da estrutura e de como as informações necessárias serão obtidas, passando pela aquisição propriamente dita destes dados e culminando com as consultas que podem ser utilizadas para calcular as métricas.

Neste processo, uma característica bem marcante que pôde ser observada foi a dificuldade em se padronizar a etapa de levantamento das informações. Apesar de um *data center* consistir basicamente de um conjunto de equipamentos de TI executando serviços e aplicações de usuários, os diferentes requisitos de confiabilidade e disponibilidade – assim como as restrições de recursos – resultam em estruturas com sistemas elétricos e de refrigeração bastante particulares, o que em última instância significa uma considerável heterogeneidade nos equipamentos e ferramentas de gerenciamento disponíveis, assim como na forma de obter as informações. Uma vez que a motivação para a implantação de um processo como esse está fortemente relacionada à otimização de custos e como modificações em infraestrutura de *data center* são geralmente bastante dispendiosas, usualmente caberá ao processo se adaptar à estrutura, e não o contrário.

Uma implicação desta heterogeneidade é que, em alguns casos, a impossibilidade de se obter com razoável precisão os dados necessários, de forma sistematizada e na frequência desejada, exigirá a realização de estimativas. Estas estimativas, sejam elas teóricas ou baseadas na observação de um conjunto limitado de amostragens, podem prejudicar a acurácia dos resultados. No caso específico, foram realizadas estimativas para determinar o percentual médio de participação de cada ambiente em relação ao total utilizado, assim como as perdas ocorridas nas PDU e no trajeto até a entrada nos *no-breaks*. A utilização de PDU gerenciáveis inegavelmente traria maior precisão aos resultados alcançados. Entretanto, como

os requisitos de acurácia estão intrinsecamente ligados aos custos de infraestrutura, vale o mesmo pensamento do parágrafo anterior.

As restrições da estrutura também se fizeram presentes por ocasião das simulações que serviram para evidenciar as relações de influência entre as métricas. Diante disto, como em alguns casos não foi viável determinar exatamente os novos valores das métricas a partir das simulações, somente foi possível verificar esta relação pelo sentido – aumentando ou diminuindo – da alteração para o valor eventual das métricas após as mudanças.

Uma questão importante a respeito das simulações realizadas é que elas visavam unicamente a demonstrar a relação entre as métricas sob a ótica da produtividade no tocante à energia utilizada, não significando portanto uma sugestão de substituição de equipamentos e tampouco uma avaliação global dos mesmos, até porque nas diferenças entre eles podem estar componentes importantes para o funcionamento das aplicações e serviços que eles abrigam.

Quanto aos resultados obtidos no *data center* avaliado, de forma geral pode-se dizer que, apesar de ainda não existir uma base de valores reais que sirvam de referência, a estrutura analisada não está muito distante do lugar comum em relação a *data centers* similares. Por outro lado, existem grandes possibilidades de melhoria, como a desativação de servidores mais antigos – equipamentos menos eficientes e que geralmente hospedam aplicações legadas – e a adoção de uma estratégia mais agressiva de consolidação por meio da virtualização de servidores. No tocante ao ambiente de armazenamento, políticas de avaliação e tratamento dos dados armazenados podem ser combinadas com novas tecnologias e campanhas de esclarecimento aos usuários sobre boas práticas, garantindo maior eficiência na utilização deste ambiente.

Apesar das dificuldades enfrentadas e das implicações apresentadas, é inegável a importância de se controlar o ambiente sob o aspecto da eficiência com que a energia é utilizada. Quando analisados de forma comparativa, como será realizado no próximo capítulo, os resultados aqui obtidos podem fornecer subsídios interessantes para determinar que investimentos signifiquem maiores benefícios sob a ótica da produtividade.

## 5. Ferramenta de Gestão Baseada no Framework

Neste capítulo, será apresentado o protótipo de uma ferramenta de gestão baseada no *framework* proposto neste trabalho. O objetivo desta ferramenta é subsidiar decisões gerenciais sobre que investimentos em equipamentos e infraestrutura poderiam ser mais efetivos sob a ótica da produtividade em relação ao consumo de energia. Seguindo o mesmo princípio, permite também analisar a efetividade de determinadas alterações no ambiente, além de facilitar a percepção de relacionamento entre as métricas.

Para demonstrar as possibilidades que uma ferramenta deste tipo pode fornecer, foi desenvolvido para este trabalho um pequeno protótipo com funcionalidades limitadas, utilizando as linguagens *html* e *javascript*. Para efeito de demonstração, foram utilizados dados hipotéticos, que serviram para a criação dos gráficos estáticos carregados pela ferramenta.

O protótipo foi batizado de SAIPE (Sistema de Acompanhamento Integrado da Produtividade Energética) e realiza o comparativo das métricas entre quatro *data centers* hipotéticos (DC1, DC2, DC3 e DC4). Para o DC1, o único a herdar os dados reais obtidos no Capítulo 4 (importados para o mês de julho/2009), é possível ainda acompanhar, para cada ambiente, o comportamento das métricas ao longo dos últimos seis ou doze meses.

A Figura 5.1 apresenta a tela inicial do SAIPE, destacando-se à direita o painel de visualização e à esquerda um menu com os *links* para cada um dos três ambientes, além do *link* para um quadro explicativo, idêntico ao apresentado no Quadro 3.1, que apresenta um resumo geral das métricas utilizadas.



**Figura 5.1 – Tela inicial do SAIPE**

Conforme exemplo mostrado na Figura 5.2, uma vez escolhido qualquer um dos três ambientes, surgirão no painel de visualização três grupos de opções para determinar que tipo de informação será apresentada, bastando ao usuário escolher as opções desejadas e pressionar o botão “Enviar”.

O primeiro grupo de opções se refere ao período desejado, que pode ser de um, seis ou doze meses. Uma vez que se trata de um protótipo com estrutura lógica simples e utilizando gráficos estáticos, foi limitado o número de alternativas preenchendo-se automaticamente as opções do segundo grupo. Sendo assim, caso seja escolhida a opção de “1 mês”, serão plotadas no gráfico as métricas referentes ao último mês para cada um dos



quatro *data centers*, permitindo um comparativo entre eles, de forma a identificar aqueles que estão adotando melhores práticas na questão energética. Caso contrário, para qualquer uma das outras duas opções, serão plotadas as métricas correspondentes ao número de meses escolhidos apenas para DC1, permitindo neste caso analisar a evolução das métricas ao longo do tempo.

**SAIPE**  
Sistema de Acompanhamento Integrado da Produtividade Energética

Olá, Marcos Goldhar

**Principal**  
Pagina Inicial

**Ambientes**  
Armazenamento  
Infraestrutura  
Servidores

**Quadro Explicativo**  
Quadro Explicativo

**Ambientes » Armazenamento**

**Período**  
☒ 1 mês ☐ 6 meses ☐ 12 meses

**Data Center**  
☒ DC1 ☒ DC2 ☒ DC3 ☒ DC4

**Métricas Secundárias**  
☐ sim ☒ não

**Enviar**

**Figura 5.2 – Tela de opções do SAIPE para os ambientes**

Por fim, o terceiro grupo de opções serve para determinar se será apresentada apenas a métrica principal de produtividade (opção padrão) ou se serão plotadas todas as métricas que influenciam o ambiente. Nos tópicos a seguir serão apresentados alguns

cenários para cada um dos ambientes, analisando que conclusões poderiam ser obtidas para cada um dos casos.

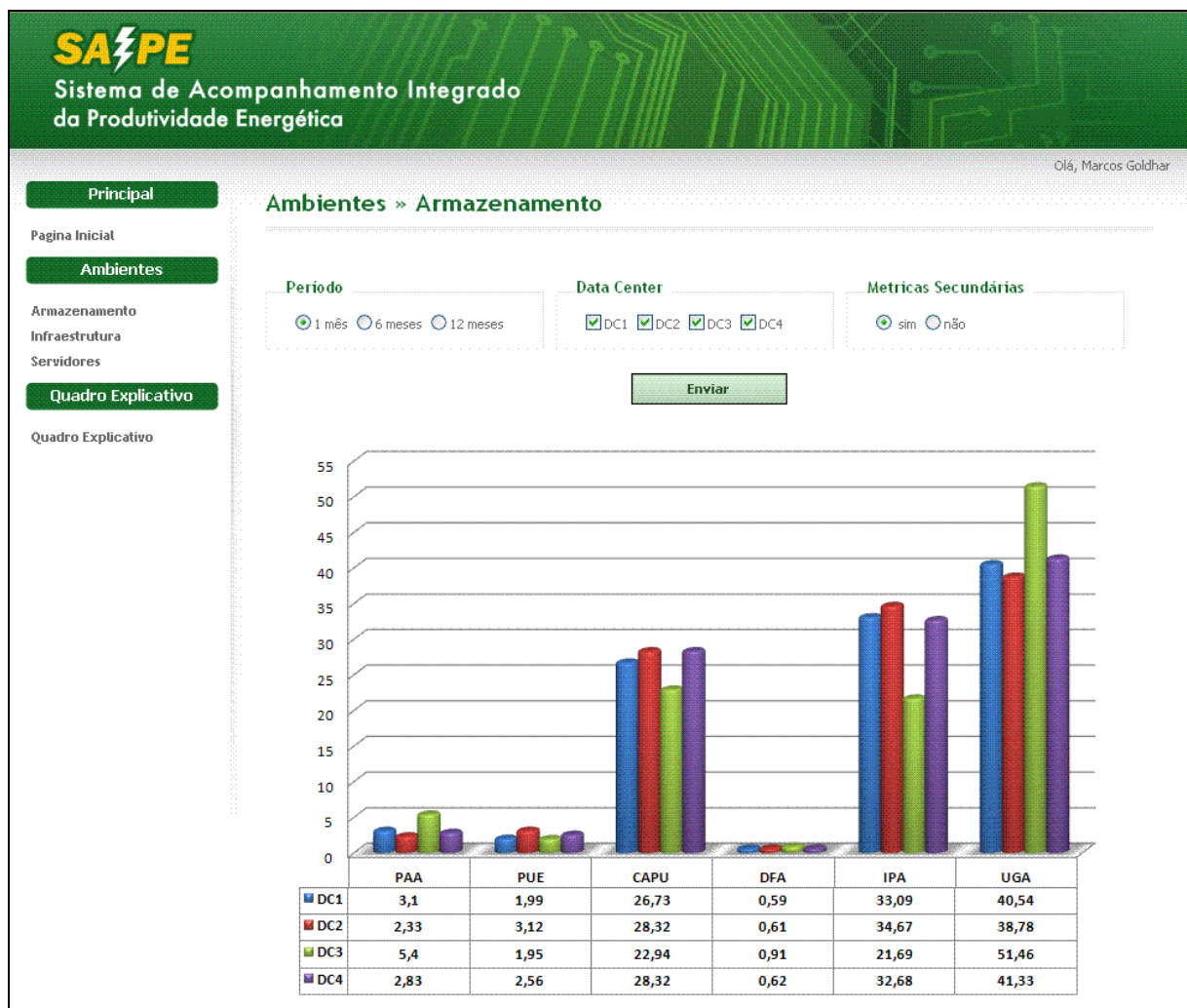
### 5.1 Ambiente de Armazenamento

Seguindo a ordem alfabética de apresentação dos ambientes no respectivo menu, serão apresentados primeiramente cenários relativos ao ambiente de armazenamento, iniciando com os valores da métrica principal de produtividade (PAA) no último mês para cada um dos *data centers*.



Figura 5.3 – Comparativo da PAA para os diversos *data centers*

Analisando a Figura 5.3, o destaque negativo fica para o DC2, enquanto o DC3 apresenta o melhor resultado de produtividade entre todas as estruturas, servindo portanto como referência de melhor prática. Para melhor elucidar as razões que eventualmente influenciaram esses resultados, deve ser escolhida a opção que apresenta também as métricas secundárias, obtendo como resultado a tela apresentada na Figura 5.4.



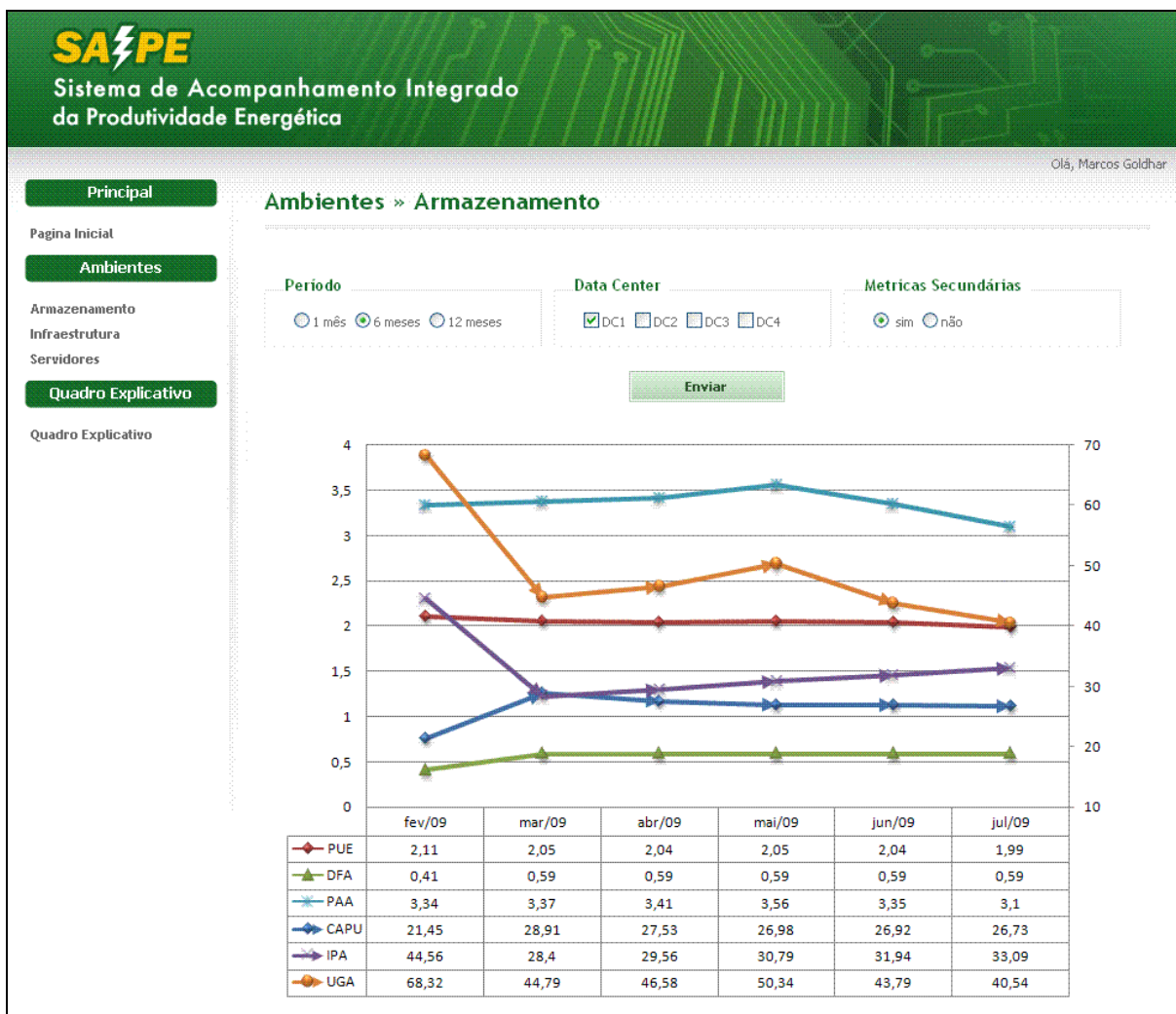
**Figura 5.4 – Comparativo das métricas de armazenamento para os diversos *data centers***

Por este comparativo mais completo, é possível observar que o DC3 possui os melhores resultados em todas as métricas, o que justifica o resultado obtido para a métrica principal. Neste contexto, além de apresentar uma infraestrutura eficiente (menor valor de

PUE) e equipamentos mais modernos (menor valor de IPA) e com alta densidade (DFA), também conta com os maiores índices de utilização (UGA), onde pode ser identificada uma relação direta com os baixos valores de capacidade de armazenamento por usuário (CAPU), demonstrando estar melhor dimensionado que os seus pares.

Já o DC2, apesar de apresentar valores razoavelmente equivalentes a DC1 e DC4 em quase todas as métricas, teve na PUE a provável razão para obter os piores resultados de PAA, demonstrando com isso que investimentos na área de infraestrutura deste *data center* seriam bastante efetivos e necessários. Uma possível decisão que poderia ser sugerida para DC1, DC2 e DC4, avaliando obviamente o custo-benefício da mudança, seria a substituição dos equipamentos atuais por unidades mais novas e eficientes, sem entretanto aumentar os quantitativos disponibilizados. Além disto, eventuais remanejamentos ou consolidações poderiam garantir um melhor dimensionamento na prestação dos serviços e consequentemente uma melhoria da produtividade no aspecto energético.

Outro cenário interessante a ser observado é a evolução das métricas de armazenamento em DC1 nos últimos 6 meses (Figura 5.5). Apesar da PUE não apresentar variações significativas neste período, é perceptível uma modificação no ambiente entre os meses de “fev/2009” e “mar/2009”. Vale alertar que, uma vez que as métricas possuem grandezas bem diferentes, a melhor visualização das informações exigiu a utilização de um gráfico com 2 eixos verticais (as séries que utilizam o eixo da direita possuem uma seta indicativa).



**Figura 5.5 – Evolução das métricas de armazenamento em DC1 nos últimos 6 meses**

A diminuição da idade (IPA) e o aumento da densidade (DFA) sugerem a utilização de unidades de armazenamento mais eficientes, o que deveria ter um efeito positivo na produtividade (PAA) pela redução no consumo. Entretanto, o aumento da capacidade por usuário (CAPU) e forte redução na utilização global (UGA) indicam que houve uma expansão na capacidade disponível no ambiente, o que manteve o consumo relativamente equilibrado. Este comportamento, aliado ao fato de que o quantitativo absoluto de áreas efetivamente utilizadas também se manteve equilibrado, explica a manutenção nos níveis da PAA.

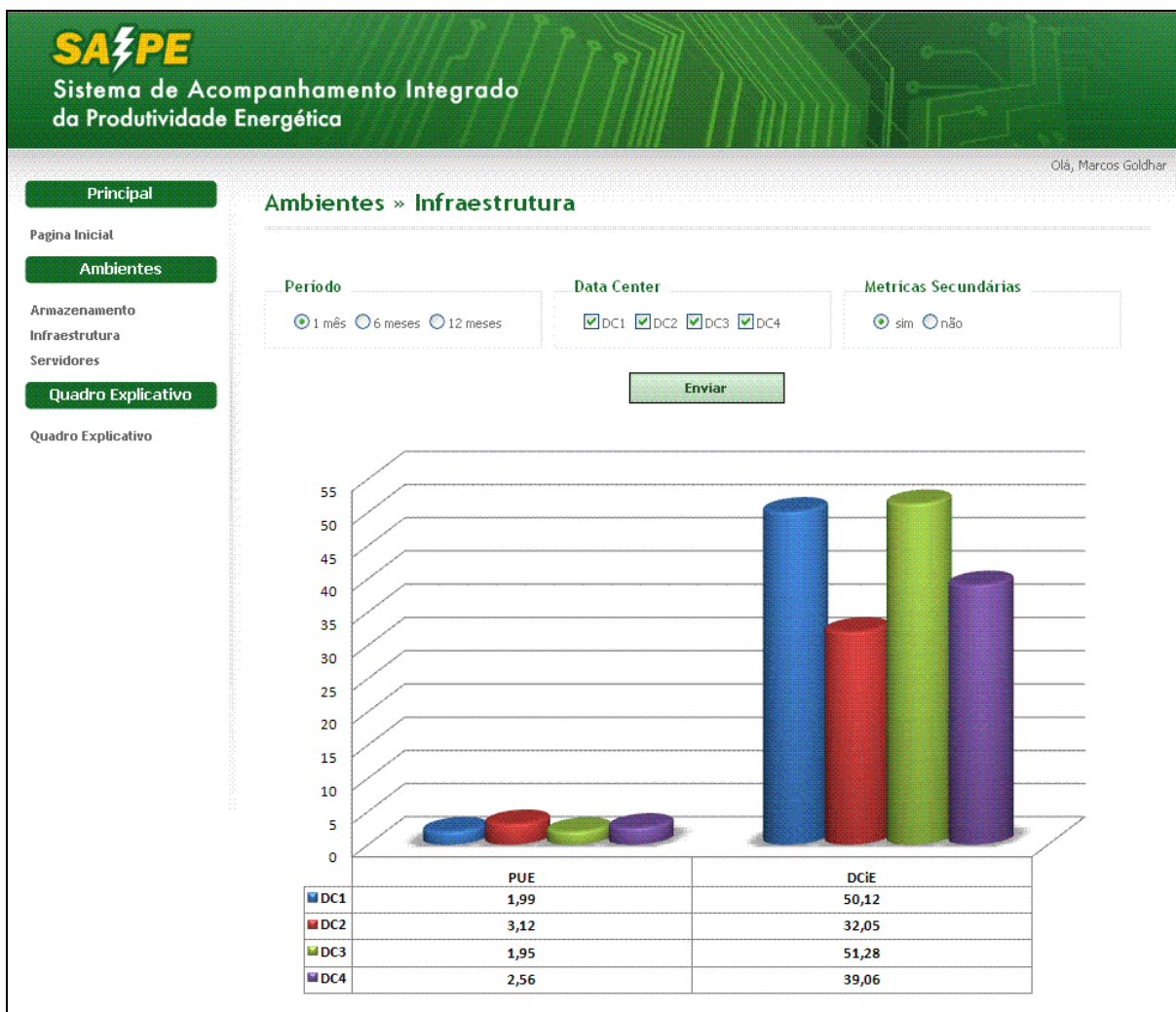
Nos meses seguintes, houve naturalmente um acréscimo gradativo na idade (IPA), mas é possível observar uma flutuação nos valores de produtividade (PAA), que foram

aumentando gradativamente e depois começaram a decrescer. Isto se explica pelo comportamento dos níveis de utilização (UGA), que após a expansão do ambiente experimentaram um aumento gradual, mas a partir de “mai/2009” passaram a cair em função de uma campanha de conscientização no uso dos recursos de armazenamento. Obviamente, os resultados desta campanha, apesar de neste momento afetarem o indicador de produtividade na questão energética, trarão resultados positivos nos próximos anos, evitando a necessidade de novas expansões.

## 5.2 Ambiente de Infraestrutura

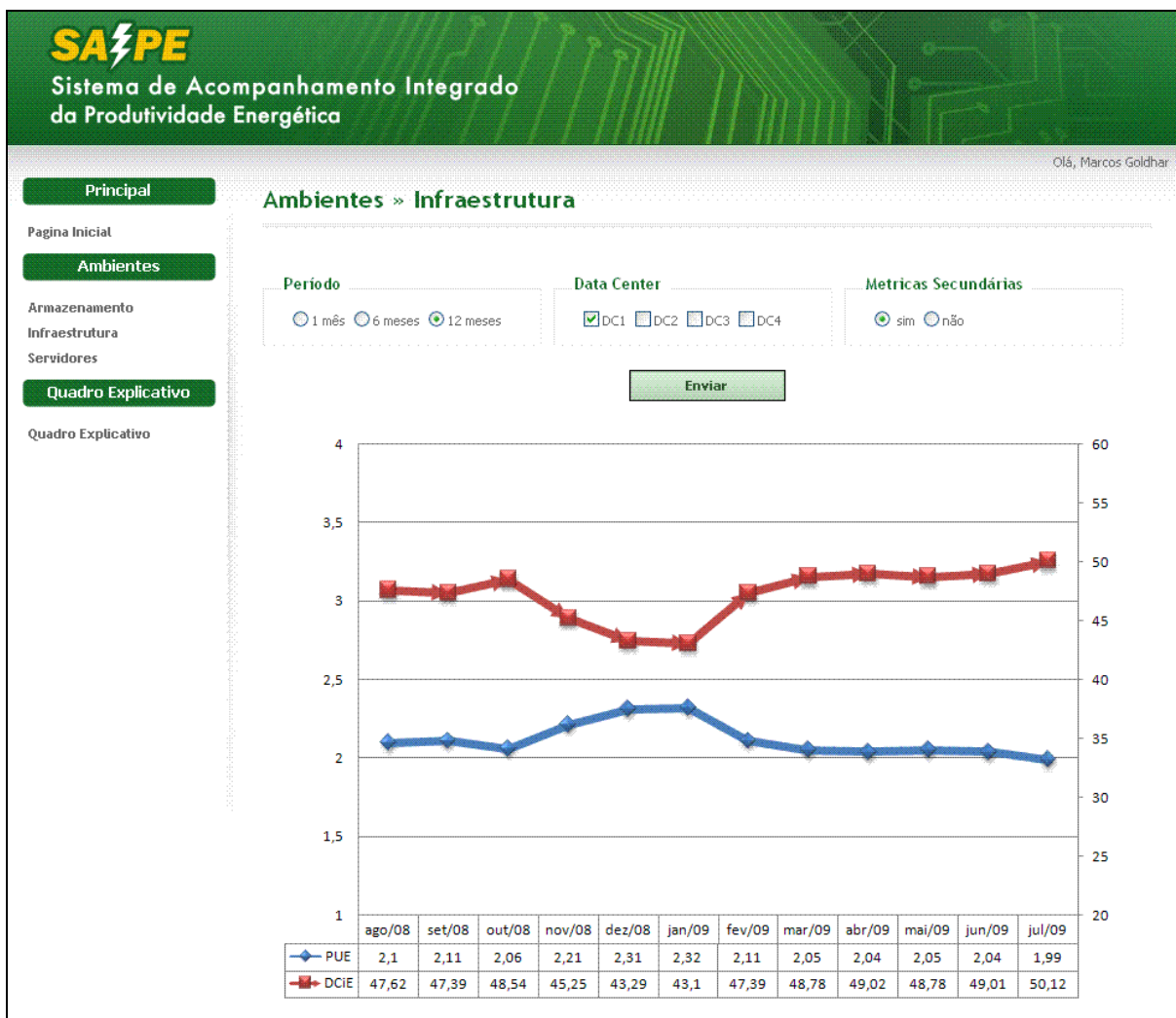
A partir dos resultados disponíveis para a PUE e DCiE, neste tópico serão analisados cenários relativos ao ambiente de infraestrutura. Pelos valores apresentados na Figura 5.6, DC1 e DC3 apresentam melhor efetividade no uso da energia (PUE) e consequentemente maior eficiência (DCiE), o que quer dizer que nestes *data centers* a fatia de potência utilizada para refrigerar o ambiente e condicionar a energia elétrica entregue aos equipamentos de TI é proporcionalmente menor que nos outros *data centers*, sobretudo no DC2, que apresenta os piores resultados. Diante disto, para esta estrutura fica evidente a necessidade de uma boa investigação para identificar as razões para esta situação, e eventualmente a injeção recursos para efetuar as alterações necessárias.





**Figura 5.6 – Comparativo das métricas de infraestrutura para os diversos *data centers***

Analisando agora a evolução das métricas de infraestrutura em DC1 nos últimos 12 meses (Figura 5.7), não se percebe nenhuma mudança significativa na estrutura, ficando a flutuação de resultados por conta da sazonalidade. Nos meses mais quentes, em função da maior necessidade de refrigeração, mais energia foi consumida com infraestrutura, impactando negativamente os resultados das métricas.



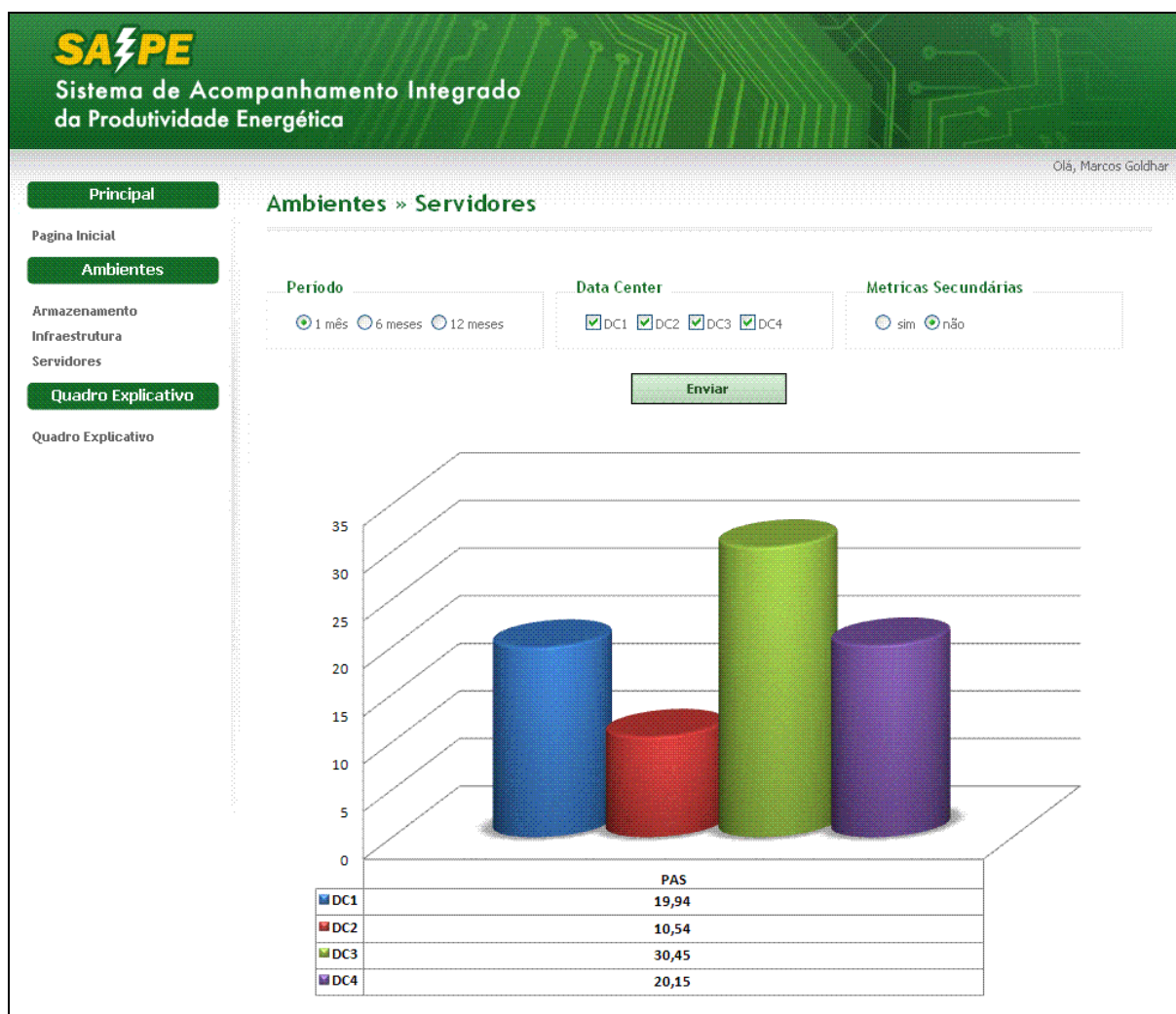
**Figura 5.7 – Evolução das métricas de infraestrutura em DC1 nos últimos 12 meses**

Como visto nos capítulos anteriores, a DCiE é a recíproca da PUE e são, por conseguinte, inversamente proporcionais. Esta relação pode ser facilmente visualizada na Figura 5.7, quando se verifica que as flutuações nas duas métricas ocorrem na mesma intensidade, mas em sentido inverso.



## 5.3 Ambiente de Servidores

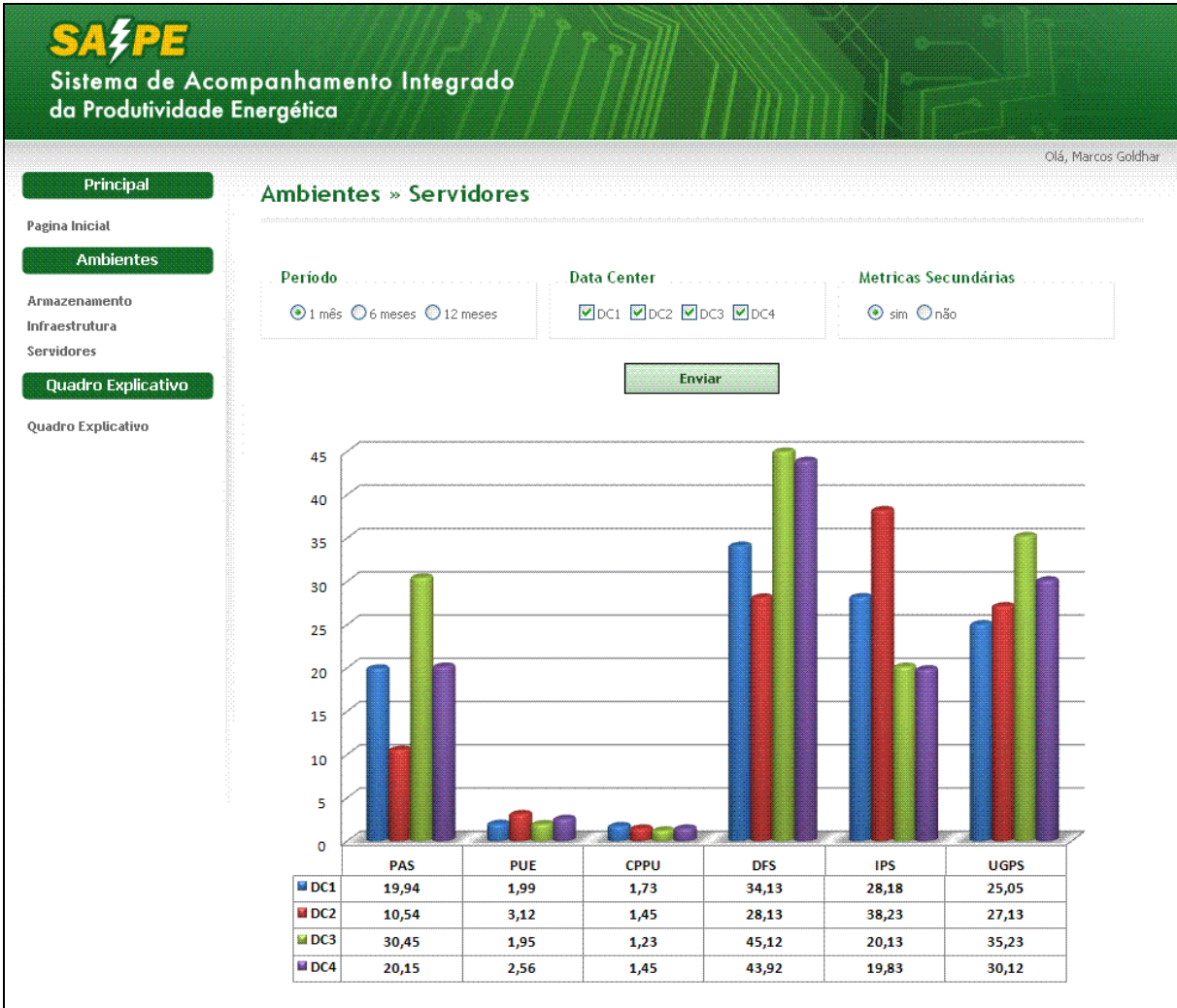
Por fim, serão então analisados cenários relativos ao ambiente de servidores, começando com os valores da métrica principal de produtividade (PAS) correspondentes ao último mês para cada um dos *data centers*.



**Figura 5.8 – Comparativo da PAS para os diversos *data centers***

Pela Figura 5.8, as conclusões em relação à produtividade deste ambiente são bastante semelhantes ao ambiente de armazenamento, ou seja, o pior resultado foi encontrado em DC2, enquanto o destaque positivo fica por conta DC3, que apresenta o melhor resultado de produtividade entre todas as estruturas e pode servir como referência de melhores práticas.

Para entender melhor o porquê desses resultados, deve-se analisar também as métricas secundárias. Para tal, deve ser escolhida a opção correspondente, que terá como resultado a tela apresentada na Figura 5.9.



**Figura 5.9 – Comparativo das métricas de servidores para os diversos *data centers***

Uma leitura mais atenta do gráfico apresentado na Figura 5.9 pode explicar os resultados ruins de produtividade (PAS) no DC2. Além de apresentar a infraestrutura mais ineficiente, conforme já foi analisado no tópico anterior, esta estrutura também conta com equipamentos mais obsoletos (IPS) e que ocupam mais espaço (DFS) que seus pares. Nesta estrutura, os valores das demais métricas (CPPU e UGPS), apesar de não serem os piores, são apenas razoáveis, não sendo suficiente para compensar os outros resultados. Diante disto,

seria muito bem vinda para esta estrutura a modernização do parque instalado, assim como alterações na infraestrutura que possibilitem o aumento da eficiência.

Apesar de não haver a mesma disparidade do ambiente de armazenamento, o DC3 novamente apresentou bons resultados em todas as métricas. Já DC1 e DC4 apresentaram resultados semelhantes de produtividade, mas por razões diferentes. Enquanto o primeiro possui uma infraestrutura tão eficiente quanto DC3, seus níveis de modernização e utilização do parque instalado são compatíveis com DC2, situação inversa da experimentada por DC4. Com isso, fica claro onde investimentos serão mais efetivos em cada uma das estruturas avaliadas.

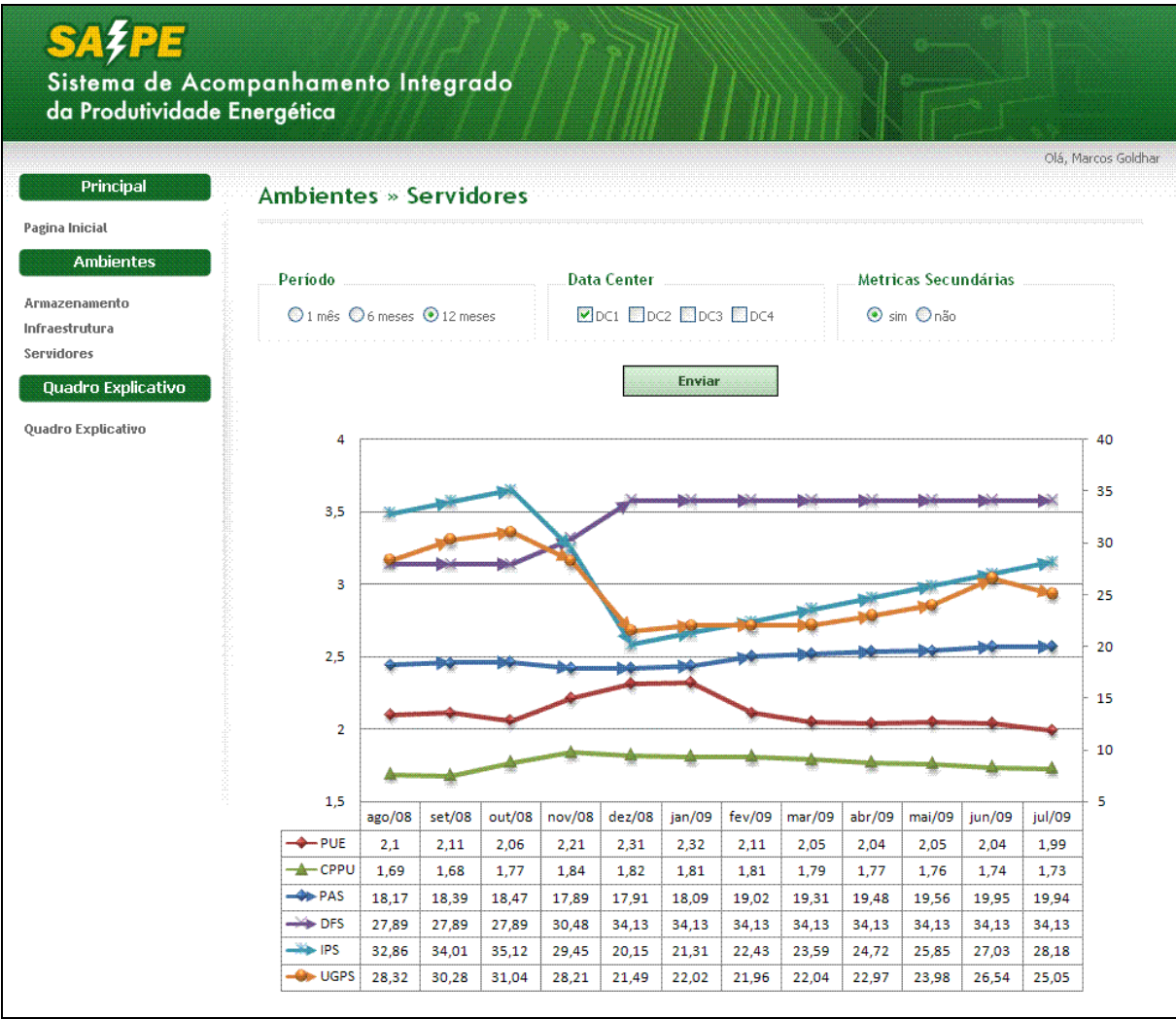


Figura 5.10 – Evolução das métricas de servidores em DC1 nos últimos 12 meses

Escolhendo agora o cenário que apresenta a evolução das métricas de servidores em DC1 nos últimos 12 meses (Figura 5.10), é possível verificar a dinâmica das métricas a partir de eventuais modificações realizadas neste *data center*. Novamente, cabe alertar que as séries que possuem a seta indicativa estão plotadas no eixo da direita.

Enquanto a PUE apresenta uma flutuação relacionada com a sazonalidade (conforme abordado no tópico anterior), afetando um pouco a produtividade (PAS), não é difícil perceber uma modificação no ambiente entre os meses de “out/2008” e “dez/2008”. A diminuição da idade (IPS) e o aumento da densidade (DFS) sugerem que nestes meses houve uma substituição gradativa de alguns servidores. Esta modernização, entretanto, não foi suficiente para aumentar a produtividade, pois apesar de se utilizar equipamentos mais eficientes, a utilização geral do ambiente (UGPS) experimentou uma queda sensível, havendo assim uma compensação. Esta queda na UGPS ocorreu porque, apesar da capacidade disponível ter aumentado com a substituição dos servidores, a demanda por processamento – e consequentemente o trabalho útil realizado por esses equipamentos – não se modificou.

Os meses seguintes foram marcados por alterações bastante graduais nos valores das métricas. Neste sentido, apesar do aumento gradativo na idade (IPS) do ambiente, houve um aumento consistente na produtividade (PAS), provocado não apenas pela estabilização da PUE, mas principalmente pelo aumento na mesma proporção apresentado pela UGPS, que pode ter sido provocado pela disponibilização de novos serviços, ou mesmo pelo crescimento vegetativo no número de usuários.

## 5.4 Considerações Acerca da Ferramenta de Gestão

A despeito de terem sido utilizados dados hipotéticos (com exceção das informações do último mês para o DC1, que foram obtidas no caso prático do Capítulo 4), o protótipo apresentado neste capítulo consegue demonstrar a importância e os benefícios de se adotar um conjunto de métricas – como as que foram propostas neste trabalho – e acompanhá-las de forma sistemática.

A criação de um processo de acompanhamento a partir de uma ferramenta de gestão semelhante ao protótipo apresentado é capaz de fornecer aos gestores da área de TI uma visão de como as modificações em seu parque se refletem na produtividade e eficiência energética. A consolidação de um processo como esse permite inclusive que se avalie antecipadamente os efeitos de algumas melhorias, auxiliando no processo decisório sobre a realização de investimentos. Além disto, a comparação entre *data centers* – sobretudo de uma mesma organização – permite que boas práticas sejam melhor evidenciadas, de forma que outras estruturas possam também adotá-las.

## 6. Conclusão

Seguindo o objetivo inicial de analisar e sugerir um conjunto de indicadores que atuem de forma integrada, com a possibilidade de tornar-se um importante insumo para a capacidade de tomada de decisão pelos gestores de tecnologia da informação, este trabalho apresentou um *framework* de métricas de produtividade e eficiência energética que visa a fornecer uma visão clara e objetiva de como a energia está sendo consumida para suportar as operações dos *data centers*, assim como de fatores secundários que podem afetar estes aspectos da prestação de serviços.

Partindo da análise bibliográfica que identificou a existência de algumas métricas já razoavelmente difundidas, o *framework* proposto buscou complementar os trabalhos existentes, agregando novas métricas ou buscando novos enfoques. Sempre pautada pela simplicidade e pela aplicabilidade em situações práticas, a proposta apresentada não traz em si requisitos rígidos quanto à acurácia, deixando esta definição para a implementação das métricas. O motivo para isso é que muitas vezes os custos para se obter resultados muito precisos podem sobrepor os benefícios que podem ser alcançados com este tipo de acompanhamento. Portanto, é muito importante entender o contexto em que os resultados podem ser utilizados. Como exemplo, a utilização interna do *framework* por uma organização que pretende acompanhar a evolução dos seus *data centers* sob o aspecto energético e utilizar estas informações como mais um elemento de contribuição às funções de gestão exigirá um nível de acurácia menor que numa situação onde métricas sejam utilizadas para pontuar serviços ou produtos de uma licitação.

Além da proposição das métricas, este trabalho apresentou também um caso prático, onde foram explorados os requisitos e as dificuldades para se chegar aos resultados desejados. No caso específico, a arquitetura e os equipamentos encontrados exigiram a realização de algumas estimativas, o que eventualmente pode significar uma pequena perda de acurácia. Esta possível perda, entretanto, pode ser considerada adequada ao contexto do trabalho, que busca evidenciar a importância de medir e controlar os aspectos energéticos dos *data centers*. Uma evidência desta importância é que, na estrutura avaliada, a simples decisão

de se estudar um processo de acompanhamento já suscitou uma série de medidas que viabilizaram a desativação de servidores ociosos, evitando com isto a aquisição de novos equipamentos de infraestrutura, que desde o ano passado estavam próximos aos limites operacionais e atualmente experimentam níveis mais confortáveis.

Outra contribuição deste trabalho foi a apresentação de um protótipo de uma ferramenta de gestão baseada no *framework*, que pode auxiliar a atividade dos gestores no direcionamento de investimentos, determinação de ciclo de vida de equipamentos e até mesmo o posicionamento de serviços. Afinal de contas, diante das transformações econômicas e ambientais que afetam a questão energética, as condições de custos e de fornecimento oferecidas por cada região serão cada vez mais importantes para definições sobre a localização dos *data centers*.

Não restam dúvidas que a atividade de TI vive em constante ebulição e novas tecnologias estão surgindo para enfrentar os desafios de aprimorar a eficiência e produtividade de suas operações. Algumas dessas tecnologias, como a virtualização, já fazem parte do cotidiano das médias e grandes empresas. Outras, como a computação em nuvem, vislumbram resultados promissores, mesmo para grandes organizações que não pretendem terceirizar sua infraestrutura, mas podem se beneficiar do conceito de abstração e compartilhamento de recursos dentro dos seus limites físicos e com infraestruturas próprias. Para tal, o foco se voltará também para o desenvolvimento de aplicações que melhor usufruam dessas funcionalidades.

## **6.1 Trabalhos Futuros**

Apesar dos objetivos deste trabalho terem sido satisfatoriamente alcançados, as atividades realizadas num processo como este sempre suscitam a necessidade de novas funcionalidades, que complementem as propostas aqui apresentadas. Diante disto, seja por não fazerem parte do escopo deste trabalho ou pela inviabilidade de realização com os recursos atualmente disponíveis, os seguintes trabalhos futuros são sugeridos:

- A partir do protótipo apresentado, pode ser desenvolvida uma ferramenta de gestão baseada no framework proposto, tendo novas funcionalidades agregadas e estando aderente à criação de um processo de acompanhamento e apoio à decisão;
- Automatização do processo de coleta de informações a partir da definição de padrões abertos de comunicação para equipamentos de infraestrutura elétrica e de refrigeração, permitindo que ferramentas de gerenciamento de rede recebam informações pertinentes à energia;
- Normalização dos ambientes, permitindo que as métricas de servidores e armazenamento possam ser consolidadas. Para tal, será importante a criação de *benchmarks* que equalizem os dois ambientes, fornecendo pontuações proporcionais para os respectivos equipamentos;
- Desenvolvimento de métricas que abordem não apenas os *data centers*, mas também a estrutura de rede, de estações de trabalho, entre outros; e
- Estudos sobre estruturas e processos de TI Verde, com enfoque específico nos aspectos de governança.



## Referências

ARONSON, Jesse S. Making IT a positive force in environmental change. **IT Professional (IEEE)**, n.º. 1, 2008, p25-26.

BEHTASH, Behzad. Green IT beyond virtualization: escape the storage grind. **InformationWeek**, nov. 2008. Disponível em <<http://i.cmpnet.com/custom/ibmgreencomputing/assets/Green2Storage.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

BELADY, Christian; MALONE, Christopher. **Metrics and an infrastructure model to evaluate data center efficiency**. [S.l., s.n.], 2007.

BRILL, Kenneth G.. **Data center energy efficiency and productivity**. [S.l.]: Uptime Institute, 2007

HEWLETT-PACKARD. **An overview of the SPEC CPU2006 benchmark on HP ProLiant servers and server blades**. [S.l.], 2007.

HIRD, Gary. **Green IT in practice**: how one company is approaching the greening of its IT. [S.l.]: IT Governance Publishing, 2008.

INGLE, Chris; NEBULONI, Giorgio. **Building an overview of the SPEC CPU2006 benchmark on HP ProLiant servers and server blades**. [S.l.]: IDC, 2008.

ISHIKAWA, Kaoru. **Guide to quality control**. 2ª Ed. Rev. New York: Kraus International Publications, 1986.

LAMB, John P. **The greening of IT**: how companies can make a difference for the environment. [S.l.]: IBM Press, 2009.

MAGALHÃES, M. N. **Probabilidade e variáveis aleatórias**. São Paulo: IME-USP, 2004. 414p.

MURUGESAN, San. Harnessing green IT: principles and practices. **IT Professional (IEEE)**, n.º. 1, 2008, p25-26.

RAFTER, Edward P. **The data center tier performance standards and their importance to the owner's project requirements**. [S.l., s.n.], 2007. Disponível em <[http://www.peci.org/ncbc/proceedings/2007/Rafter\\_NCBC2007.pdf](http://www.peci.org/ncbc/proceedings/2007/Rafter_NCBC2007.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2009.

RASMUSSEN, Neil. **Electrical efficiency modeling of data centers**. [S.l.]: APC, 2006a. Disponível em <[http://www.apcmedia.com/salestools/NRAN-66CK3D\\_R1\\_EN.pdf](http://www.apcmedia.com/salestools/NRAN-66CK3D_R1_EN.pdf)>. Acesso em: 22 jan. 2009.

\_\_\_\_\_. **Implementing energy efficient data centers**. [S.l.]: APC, 2006b. Disponível em <<http://www.datacenterdynamics.com/Media/MediaManager/Implementing%20Energy%20Efficient%20Datacenters.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2009.

RIVOIRE, Suzanne et. al. Models and Metrics to Enable Energy-Efficiency Optimizations. **IEEE Computer Society**, Dez. 2007, p39-48.

SCHULZ, George. **The green and virtual data center**. [S.l.]: Taylor & Francis Group, 2009.

SIGGINS, Peter; MURPHY, Connor. **Putting green IT to work for corporate sustainability**. [S.l.:s.n.], 2009. Disponível em <<http://www.greenercomputing.com/news/2009/04/07/putting-green-it-work-corporate-sustainability>>. Acesso em: 09 set. 2009.

SPAFFORD, George. **The governance of green IT: the role of processes in reducing data center energy requirements**. [S.l.]: IT Governance Publishing, 2008.

SPEC. **SPECpower\_ss2008 results**. [S.l.], 2009. Disponível em <[http://www.spec.org/power\\_ss2008/results/index.html](http://www.spec.org/power_ss2008/results/index.html)>. Acesso em: 21 mai. 2009.

STANLEY, John R.; BRILL, Kenneth G.; KOOMEY, Jonathan. **Four metrics define data center “greenness”**: enabling users do quantify energy consumption initiatives for environmental sustainability and “bottom line” profitability. [S.l.]: Uptime Institute, 2007

THE GREEN GRID. **The green grid data center power efficiency metrics: PUE and DCiE**. [S.l.], 2007a.

\_\_\_\_\_. **Green grid metrics: describing datacenter power efficiency**. [S.l.], 2007b.

\_\_\_\_\_. **A framework for data center energy productivity**. [S.l.], 2008.

\_\_\_\_\_. **Proxy proposals for measuring data center productivity**. [S.l.], 2009.

TIPLEY, Roger. **PUE scalability metric and statistical analyses**. [S.l.]: The Green Grid, 2009

VELTE, Toby J.; VELTE, Anthony T.; ELSENPETER, Robert. **Green IT: Reduce Your Information System’s Environmental Impact While Adding to the Bottom Line**. [S.l.]: McGraw-Hill, 2008.

VERDUN, Gary. **The green grid metrics: data center infrastructure efficiency (DCiE) detailed analysis** [S.l.]: The Green Grid, 2008.

## Apêndice A – Relação Expandida do Ambiente de Servidores

Nome	SO	Marca	Modelo	SPEC2000	Data-Compra
Servidor-1	Windows	HP	PROLIANT 5500	5,4	12/09/2000
Servidor-2	Linux	SUN	SUNFIRE 3800	32,8	01/01/2002
Servidor-3	Linux	SUN	SUNFIRE 3800	32,8	01/01/2002
Servidor-4	Windows	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	05/06/2002
Servidor-5	Linux	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	05/06/2002
Servidor-6	Windows	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	05/06/2002
Servidor-7	Windows	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	28/06/2002
Servidor-8	Linux	HP	PROLIANT DL580 G1	17,6	02/07/2002
Servidor-9	Windows	HP	PROLIANT DL580 G1	17,6	02/07/2002
Servidor-10	Windows	DELL	POWEREDGE 2650	16,5	13/12/2002
Servidor-11	Windows	DELL	POWEREDGE 2650	16,5	13/12/2002
Servidor-12	Windows	HP	PROLIANT DL360 G2	13,8	12/11/2003
Servidor-13	Windows	HP	PROLIANT DL580 G2	45,1	12/11/2003
Servidor-14	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	12/11/2003
Servidor-15	Linux	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	12/11/2003
Servidor-16	Linux	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	12/11/2003
Servidor-17	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	12/11/2003
Servidor-18	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	12/11/2003
Servidor-19	Linux	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	29/01/2004
Servidor-20	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	18/06/2004
Servidor-21	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-22	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-23	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-24	Linux	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-25	Linux	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-26	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-27	Linux	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-28	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-29	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-30	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	06/08/2004
Servidor-31	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	10/08/2004
Servidor-32	Windows	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	10/08/2004
Servidor-33	Windows	HP	PROLIANT DL580 G2	59	10/08/2004
Servidor-34	Windows	HP	PROLIANT DL580 G2	59	10/08/2004
Servidor-35	Windows	HP	PROLIANT DL580 G2	45,1	23/11/2004
Servidor-36	Linux	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	23/11/2004
Servidor-37	Windows	HP	PROLIANT DL580 G2	45,1	23/11/2004
Servidor-38	Windows	HP	PROLIANT DL580 G2	45,1	23/11/2004
Servidor-39	Linux	HP	PROLIANT DL 380 G3	24,7	23/11/2004
Servidor-40	Linux	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-41	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-42	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-43	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-44	Linux	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-45	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-46	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-47	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005

Servidor-48	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-49	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-50	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-51	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-52	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-53	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	21/07/2005
Servidor-54	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	19/07/2006
Servidor-55	Linux	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	19/07/2006
Servidor-56	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	19/07/2006
Servidor-57	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	19/07/2006
Servidor-58	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	19/07/2006
Servidor-59	Windows	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	19/07/2006
Servidor-60	Linux	HP	PROLIANT DL360 G4	29,8	19/07/2006
Servidor-61	Linux	HP	PROLIANT DL 140 G2	35,6	29/01/2007
Servidor-62	ESX	IBM	X-3755	143	07/12/2007
Servidor-63	Windows	IBM	X-3755	143	07/12/2007
Servidor-64	Windows	IBM	X-3755	143	07/12/2007
Servidor-65	ESX	IBM	X-3755	143	07/12/2007
Servidor-66	Windows	IBM	X-3755	143	07/12/2007
Servidor-67	ESX	IBM	X-3755	143	07/12/2007
Servidor-68	Windows	IBM	X-3755	143	07/12/2007
Servidor-69	ESX	IBM	X-3755	143	07/12/2007
Servidor-70	Linux	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-71	Linux	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-72	Linux	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-73	Linux	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-74	Linux	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-75	Linux	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-76	Linux	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-77	Linux	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-78	Linux	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-79	Windows	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-80	Windows	HP	PROLIANT BL460C G1	199	27/12/2007
Servidor-81	Linux	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-82	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-83	Linux	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-84	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-85	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-86	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-87	Linux	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-88	Linux	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-89	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-90	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-91	Linux	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-92	Linux	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-93	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-94	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-95	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-96	Windows	IBM	X-3550	131	02/01/2008
Servidor-97	Windows	DELL	PRECISION 390	53,7	20/02/2008
Servidor-98	Linux	IBM	X-3550	131	19/01/2009

## Apêndice B – Scripts de Coleta de Contadores de Sistema Operacional

**Programa escrito em VBScript para coleta de informações de níveis de utilização em servidores Microsoft Windows Server:**

```
# Autor: Marcos Goldhar
# Data: 08/06/20009
#
Const ForReading = 1
Const ForAppending = 8
On Error Resume Next
Set objFSO = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
Set objFile = objFSO.OpenTextFile("D:\script\Energia\Computers.txt", ForReading)

If objFSO.FileExists("D:\script\Energia\Computers_Workload.txt") Then
    Set objFile2 = objFSO.OpenTextFile("D:\script\Energia\Computers_Workload.txt",
ForAppending)
Else
    Set objFile2 = objFSO.CreateTextFile("D:\script\Energia\Computers_Workload.txt")
End If

If objFSO.FileExists("D:\script\Energia\Computers_Err.txt") Then
    Set objFile3 = objFSO.OpenTextFile("D:\script\Energia\Computers_Err.txt", ForAppending)
Else
    Set objFile3 = objFSO.CreateTextFile("D:\script\Energia\Computers_Err.txt")
End If

stamp = now
Do While objFile.AtEndOfStream <> True
    LstrMachine = objFile.Readline
    err.clear
    Set objWMIService = GetObject("winmgmts:\\\" & LstrMachine & "\root\CIMV2")
    If err.number <> 0 Then
        Wscript.Echo LstrMachine & "," & stamp & "," & err.number
        objFile3.Writeline LstrMachine & "," & stamp & "," & err.number
```

```

        err.clear
    Else
        objFile2.WriteLine LstrMachine & "," & stamp & "," & Pct_CPU(LstrMachine) & "," &
Pct_Mem(LstrMachine)
    End If
Loop

objFile.Close
objFile2.Close
Set objFile = Nothing
Set objFile2 = Nothing
Set objFile3 = Nothing

Function Pct_CPU(strComputer)
    Set objWMIService = GetObject("winmgmts:\\\" & strComputer & "\root\CIMV2")
    If err.number <> 0 Then
        Pct_CPU = "ERRO"
    Else
        Set collItems = objWMIService.ExecQuery( _
            "SELECT * FROM Win32_Processor",,48)
        CPU_Count = 0
        CPU_Usage = 0
        For Each objItem in collItems
            CPU_Count = CPU_Count + 1
            CPU_Usage = CPU_Usage + objItem.LoadPercentage
        Next
        Wscript.Echo LstrMachine & "," & CPU_Usage & "," & CPU_Count
        Pct_CPU = CPU_Usage / CPU_Count
    End If
End Function

Function Pct_Mem(strComputer)
    Set objWMIService = GetObject("winmgmts:\\\" & strComputer & "\root\CIMV2")
    If err.number <> 0 Then
        Pct_Mem = "ERRO"
    Else
        Set collItems = objWMIService.ExecQuery( _
            "SELECT * FROM Win32_PerfRawData_PerfOS_Memory",,48)

```

```

For Each objItem in collItems
    Avail_Phy_Mem = objItem.AvailableBytes
Next
Set collItems = objWMIService.ExecQuery( _
    "SELECT * FROM Win32_ComputerSystem",,48)
For Each objItem in collItems
    Tot_Phy_Mem = objItem.TotalPhysicalMemory
Next
Pct_Mem = (Tot_Phy_Mem - Avail_Phy_Mem) / Tot_Phy_Mem * 100
End If
End Function

```

**Exemplo do arquivo de saída do *script* para coleta de informações de níveis de utilização em servidores Microsoft Windows Server:**

```

SERVIDOR-57;06/29/2009 3:00:00 PM;20;53.5499706916764
SERVIDOR-58;06/29/2009 3:00:00 PM;0.5;42.8737304496237
SERVIDOR-59;06/29/2009 3:00:00 PM;2;28.6619181672325
SERVIDOR-63;06/29/2009 3:00:00 PM;27;32.080795578808
SERVIDOR-64;06/29/2009 3:00:00 PM;4.5;43.1524324324324
SERVIDOR-66;06/29/2009 3:00:00 PM;3.75;75.2956438791733
SERVIDOR-68;06/29/2009 3:00:00 PM;1.5;21.91437594356
SERVIDOR-79;06/29/2009 3:00:00 PM;0.5;31.7083780081578
SERVIDOR-80;06/29/2009 3:00:00 PM;1.75;22.9283918207869
SERVIDOR-82;06/29/2009 3:00:00 PM;1;30.8952644050077
SERVIDOR-84;06/29/2009 3:00:00 PM;0;32.443652486464
SERVIDOR-85;06/29/2009 3:00:00 PM;3.25;26.7970726384029
SERVIDOR-86;06/29/2009 3:00:00 PM;0;20.5544892952125
SERVIDOR-89;06/29/2009 3:00:00 PM;0.5;65.0303697787635
SERVIDOR-90;06/29/2009 3:00:00 PM;1.5;44.6779447605511
SERVIDOR-93;06/29/2009 3:00:00 PM;31.75;65.1220158999376
SERVIDOR-94;06/29/2009 3:00:00 PM;1;29.391669109027
SERVIDOR-95;06/29/2009 3:00:00 PM;0;20.9903514498527
SERVIDOR-96;06/29/2009 3:00:00 PM;0.5;12.3390914670105
SERVIDOR-97;06/29/2009 3:00:00 PM;10.5;36.0716084857893
SERVIDOR-1;06/29/2009 3:10:00 PM;0;21.8238308230563
SERVIDOR-4;06/29/2009 3:10:00 PM;0;10.3588632273382
SERVIDOR-6;06/29/2009 3:10:00 PM;1.625;24.7829871046143
SERVIDOR-7;06/29/2009 3:10:00 PM;2.25;31.9443066740011
SERVIDOR-9;06/29/2009 3:10:00 PM;1;44.9848041712693
SERVIDOR-10;06/29/2009 3:10:00 PM;1.125;19.0880864600871
SERVIDOR-11;06/29/2009 3:10:00 PM;0;26.9874898053599
SERVIDOR-12;06/29/2009 3:10:00 PM;0;8.99366796906015
SERVIDOR-13;06/29/2009 3:10:00 PM;0;75.0941817937587
SERVIDOR-14;06/29/2009 3:10:00 PM;11;70.2899214509813

```

**Programa escrito em Shell Script para chamadas de execução de consultas a servidores Linux/ESX remotos:**

```
#!/bin/bash
# Autor: Cleidson Passos
# Data: 15/06/20009
#
SSH=`which ssh`
UTILIZACAO=/usr/local/bin/utilizacao
DADOS=~/.dadosColetados
SLEEP=`which sleep`
TEMPO=600
maquinas=/root/servidores/mmonitoradas
while true
do
    for servidor in `cat $maquinas`
    do
        echo `echo $servidor | cut -f 1 -d "."`;"`date +%d-%m-%y %H:%M:%S`";`ssh -o
"ConnectTimeout 2" $servidor $UTILIZACAO` >> $DADOS 2> /dev/null &
        done
        $SLEEP $TEMPO
    done
```

**Programa escrito em Shell Script para coleta de informações de níveis de utilização em servidores Linux:**

```
#!/bin/bash
# Autor: Cleidson Passos
# Data: 15/06/20009
#
#Nome da maquina
HOST=$(echo $(hostname) | cut -f 1 -d '.')
#Data de hora da coleta
DATAHORA=$(date +%x %X)
#Porcentagem de utilizacao da CPU
PERCPU=$(echo "scale=2; 100 - $(iostat | grep -i avg-cpu -A 1 | sed -e 's@ *@ \
```



```
@g' | tail -n 1 | sed -e 's@, @. @')" | bc)
#Memoria livre
FREEMEN=$(free | grep -i "cache:" | sed -e 's@ *@ @g' | cut -f 4 -d ' ')
#Memoria utilizada
USEDMEN=$(free | grep -i "cache:" | sed -e 's@ *@ @g' | cut -f 3 -d ' ')
#Memoria Total
TOTMEN=`expr $FREEMEN + $USEDMEN`
#Porcentagem de utilizacao da memoria
PERCMEN=$(echo "scale=2; 100 * $USEDMEN / $TOTMEN" | bc)
#Porcentagem de utilizacao(acesso) de disco
PERDISC=$(iostat -x | grep -i device -A 1 | tail -n 1 | sed -e 's@ *@ @g' | sed -e 's@ *@ \
@g' | tail -n 1 | sed -e 's@, @. @')
#echo $HOST";"$DATAHORA";"$PERCPU";"$PERCMEN";"$PERDISC
echo $PERCPU";"$PERCMEN";"$PERDISC
```

### **Programa escrito em Shell Script para coleta de informações de níveis de utilização em servidores VMWare ESX:**

```
#!/bin/bash
# Autor: Cleidson Passos
# Data: 15/06/20009
#
#Nome da maquina
HOST=$(echo $(hostname) | cut -f 1 -d '.')
#Data de hora da coleta
DATAHORA=$(date +%x %X')
#Memoria livre
FREEMEN=$(grep -A 2 -i managed /proc/vmware/sched/mem-verbose | tail -n 1 | cut -f 1 -d ' ')
#Memoria total
TOTMEN=$(grep -A 2 -i managed /proc/vmware/sched/mem-verbose | head -n 1 | cut -f 1 -d ' ')
#Memoria utilizada
USEDMEN=`expr $TOTMEN - $FREEMEN`
#Porcentagem de utilizacao da CPU
PERCMEN=$(( ( ( 100 * $USEDMEN ) ) / $TOTMEN ))
#Memoria livre
PERCPU=$(esxtop -n 1 -b | cut -f 16 -d ' ' | tail -n 1 | cut -f 2 -d '"')
echo $PERCPU";"$PERCMEN
```

**Exemplo do arquivo de saída do *script* para coleta de informações de níveis de utilização em servidores Linux e VMWare ESX:**

SERVIDOR-19;06/29/2009 03:28:19 PM;2.57;34.96;0.43  
SERVIDOR-24;06/29/2009 03:28:19 PM;5.20;56.04;1.32  
SERVIDOR-25;06/29/2009 03:28:20 PM;3.90;10.86;1.08  
SERVIDOR-27;06/29/2009 03:28:21 PM;3.44;176.49;10.28  
SERVIDOR-36;06/29/2009 03:28:22 PM;3.25;142.68;10.88  
SERVIDOR-39;06/29/2009 03:28:22 PM;.66;7.90;2.57  
SERVIDOR-40;06/29/2009 03:28:23 PM;.54;7.27;2.16  
SERVIDOR-44;06/29/09 15:28:23;1.26;5.57;1.77  
SERVIDOR-55;06/29/2009 03:28:24 PM;.08;4.52;0.00  
SERVIDOR-60;06/29/2009 03:28:24 PM;7.56;71.07;5.41  
SERVIDOR-61;06/29/09 15:28:26;8.85;29.40;0.06  
SERVIDOR-62;06/29/09 15:28:26;21.40;69  
SERVIDOR-65;06/29/09 15:28:32;31.38;76  
SERVIDOR-67;06/29/09 15:28:38;7.21;91  
SERVIDOR-69;06/29/09 15:28:43;37.82;62  
SERVIDOR-70;06/29/2009 03:28:49 PM;.16;735.64;0.76  
SERVIDOR-71;06/29/2009 03:28:50 PM;.20;213.08;0.51  
SERVIDOR-72;06/29/2009 03:28:57 PM;9.76;41.24;10.36  
SERVIDOR-73;06/29/2009 03:28:57 PM;.35;8.67;1.16  
SERVIDOR-2;06/29/09 15:38:50;2.06;24.18;1.99  
SERVIDOR-3;06/29/2009 03:38:50 PM;.25;.88;1.12  
SERVIDOR-5;06/29/2009 03:38:51 PM;.21;.93;0.41  
SERVIDOR-8;06/29/2009 03:38:56 PM;.17;.63;0.38  
SERVIDOR-15;06/29/2009 03:39:02 PM;.16;.75;0.38  
SERVIDOR-16;06/29/2009 03:39:02 PM;.03;1.02;0.27