

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Gerenciamento de energia em ambientes
corporativos

Zeus Cunha Barros

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Engenharia de Software

Kyller Costa Gorgônio

(Orientador)

Angelo Perkusich

(Orientador)

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©Zeus Cunha Barros, 15/09/2016

Zeus Cunha Barros

Gerenciamento de energia em ambientes
corporativos

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Ciência da Computação da Universidade Federal de Campina Grande -
Campus I como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau
de Mestre em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Engenharia de Software

Kyller Costa Gorgônio
(Orientador)
Angelo Perkusich
(Orientador)

Campina Grande, Paraíba, Brasil
©Zeus Cunha Barros, 15/09/2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B277g Barros, Zeus Cunha.
Gerenciamento de energia em ambientes corporativos / Zeus Cunha Barros. – Campina Grande, 2016.
59f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2016.
"Orientação: Prof. Kyller Costa Gorgônio, Prof. Angelo Perkusich".
Referências.

1. Engenharia de Software. 2. Energia - Gerenciamento. 3. Ambientes Corporativos. 4. Ciência da Computação. I. Gorgônio, Kyller Costa. II. Perkusich, Angelo. III. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande (PB). IV. Título.

CDU 004.41(043)

Agradecimentos

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora de Guadalupe, por todas as graças que recebo e oportunidades que me são apresentadas.

Agradeço a Janete Batista da Cunha, minha mãe, por seu amor, dedicação, paciência, cuidado, preocupação, compreensão e zelo com todas as dificuldades encontradas no decorrer do estudo.

Aos professores Saulo Oliveira Dornellas Luiz e Kyller Costa Gorgônio pela oportunidade, orientação, respeito, e confiança em mim depositada.

A Danielly Santos Silva por me acompanhar nos desafios que nos são apresentados.

A Joênnia Carolina Gaudêncio de Queiroz que se disponibilizou a participar e usar a metodologia proposta neste estudo, validando e avaliando suas funcionalidades.

A CAPES que possibilitou a execução das atividades efetuadas neste estudo.

Resumo

Gerenciamento de energia é uma atividade fundamental a ser implementada em todos os sistemas computacionais na busca pela sustentabilidade na área de TI (TI Verde). Considerando-se o desempenho e o orçamento para o período como restrições a esse gerenciamento é possível alcançar eficiência energética. Neste estudo, é apresentada uma metodologia de gerenciamento de energia, na qual por meio da adaptação dinâmica atrelada à troca de estados de energia dos componentes, proporciona-se um menor consumo de energia, combinando as necessidades dos usuários e as restrições de orçamento.

Abstract

Energy management is a key activity to be implemented in all computer systems in the search for sustainability in IT (green IT). Considering the performance and the power budget for the period as constraints to this management, is possible to achieve energy efficiency. In this study, it is presented a methodology for power management, in which by means of dynamic adaptation tied to the exchange of energy States of components, provides a lower power consumption, combining the needs of users and budget constraints.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	O Problema	2
1.2	Objetivos	3
1.3	Estrutura da Dissertação	4
2	Trabalhos Relacionados	5
2.1	Reengenharia	6
2.2	Adaptação Dinâmica	6
2.3	Troca de estados de energia	7
2.4	Técnicas Mistas	8
2.5	Orçamento de Energia	9
3	Estudo de Viabilidade	11
3.1	Objetivo	12
3.2	Metodologia	12
3.3	Análise dos Dados	14
4	Arquitetura para o Gerenciamento de Energia em Ambientes Corporativos	18
4.1	Descrição do Problema	19
4.2	A Arquitetura	20
4.2.1	O Cliente	20
4.2.2	O Servidor	21
4.2.3	Políticas	23
4.3	Funcionamento	24
4.4	Resultados Obtidos	25

4.5	Conclusão	26
5	Módulo de Orçamento de Energia	28
5.1	Método de Previsão do Consumo	29
5.2	Existência de Sazonalidade	29
5.3	Previsão do Consumo Baseado em Séries Temporais com Sazonalidade Sim- ples	30
5.4	Projeto de Simulação	32
5.5	Análise Comparativa dos Dados	35
5.6	Resultados Obtidos	38
5.7	Conclusão	39
6	Considerações Finais	41
6.1	A Arquitetura	41
6.2	Ameaças à Validade	42
6.3	Trabalhos Futuros	43

Lista de Símbolos

API - Application Programming Interface

DPM - Dynamic Power Management

DVFS - Dynamic Voltage Frequency Scaling

DVS - Dynamic Voltage Scaling

ACPI - Advanced Configuration and Power Interface

GDE - Gerenciamento Dinâmico de Energia

Bateria - Nome dado ao software implementado para gerenciamento de energia na versões cliente e servidor

GQM - Goal Question Metrics

L - Restrição de Penalidade de Desempenho

TI - Tecnologia da Informação

CIO - Chief Information Officer

CEO - Chief Executive Officer

TD - Timeout Dinâmico

TF - Timeout Fixo

Bateria LEMU - Software originalmente produzido para gerenciamento local de energia

LEMU - Unidade local de gerenciamento de energia, local energy management unit

CEMIS - Sistema central de gerenciamento de energia, central energy management and intelligent system

RC - Rede corporativa, conjunto de computadores conectados localmente a um servidor

BLE - Bluetooth Low Energy

M2M - Máquina a máquina

SNP - Desempenho do Sistema Normalizado, System Normalized Performance

IS - Índice de Sazonalidade

Lista de Figuras

3.1	<i>Plots</i> de representação de normalidade, por meio da função R <i>qqnorm</i> para cada coleta em uma dada técnica.	14
3.2	<i>BoxPlots</i> de sumarização de coletas para cada técnica.	15
3.3	Saída encontrada no software R para a função <i>One-Way</i> no qual dado o <i>p-value</i> pode-se desconsiderar fortemente a hipótese nula das coletas serem iguais. Isto é as coletas são diferentes.	15
3.4	Saída encontrada no software R para a função <i>pairwise.t.test</i> no qual todas as técnicas são comparadas duas a duas -(design fatorial completo).	16
3.5	Potências médias das técnicas, ordenadas de forma crescente.	17
4.1	Topologia de rede corporativa.	19
4.2	Arquitetura interna da aplicação cliente - LEMU.	21
4.3	Arquitetura interna do sistema de gerenciamento da rede corporativa - CEMIS.	22
4.4	Nova topologia de rede corporativa.	22
4.5	Medições com duração de 1 dia avaliando a potência média de desktops com e sem suspensão via CEMIS.	26
5.1	Correlação Cruzada do Consumo para o período de coletas inicial.	30
5.2	Normalidade do Erro entre a previsão e a demanda original.	33
5.3	Execução do algoritmo de seleção da política adequando-se do orçamento.	35
5.4	Comparação entre Demanda e Previsão.	36
5.5	Normalidade dos cenários de demanda unida a previsão, ordenadas da esquerda para direita, de cima para baixo.	37
5.6	<i>BoxPlots</i> dos cenários da demanda unida a previsão para a política.	37
5.7	Saída referente ao <i>p-value</i> do teste de comparação entre os conjuntos de coletas.	38

5.8	<i>Plots</i> de comparação entre os conjuntos de coletas, saída ANOVA.	38
5.9	Saída comparativa entre políticas par a par com hipótese alternativa de ser menor.	39

Lista de Tabelas

4.1	Redução de potência média com o LEMU/CEMIS.	26
-----	---	----

Lista de Códigos Fonte

5.1	Procedimento de previsão baseada em sazonalidade simples	31
5.2	Procedimento de aplicação da política - Módulo Tomador de Decisão Baseado no Orçamento (pseudocódigo)	34

Capítulo 1

Introdução

Os sistemas computacionais de uma infraestrutura de TI apresentam um consumo significativo de energia, como exposto por Murugesan et al., 2012 [11]. Esse consumo cresce a cada dia e como consequência o meio ambiente é impactado pelo crescimento da atividade econômica. Devido a vários problemas no ciclo produtivo desses equipamentos, o impacto no ambiente é intensificado, em especial a emissão de gases do efeito estufa à camada de ozônio. Emissão essa que se intensifica com o consumo excessivo de energia elétrica. Neste estudo, entendemos como infra-estrutura de TI os computadores conectados à rede. Dessa forma, busca-se uma melhor utilização dos componentes, dispositivos eletrônicos que compõem os sistemas (processador, placa de rede, etc), durante a fase corrente de trabalho implementando conceitos de TI Verde por meio do gerenciamento de energia consumida pelos componentes dos sistemas computacionais (*desktops* e *notebooks*) da rede corporativa.

Murugesan et al. definiram TI Verde como sendo os esforços que buscam maior eficiência e efetividade com zero ou o mínimo possível de impacto ao meio ambiente. Os impactos, causados pelos sistemas computacionais ao meio ambiente podem ser notados em vários estágios do ciclo de vida dos componentes de uma infraestrutura de TI, desde a produção em fábricas que desperdiçam insumos, utilização, onde os recursos são mal aproveitados e ociosos, até o desfazimento/descarte, no qual por vezes recebem uma destinação inadequada [18].

Os sistemas computacionais de uma rede corporativa têm um consumo de energia significativo e tendo em vista que a eletricidade é a maior fonte de gases do efeito estufa [11], reduzindo o consumo de energia, reduz-se a emissão de CO₂ e conseqüentemente seus im-

pactos ambientais. A solução exposta nesse estudo baseia-se no pensamento de Aronson [3] que defende o uso da TI como forma de inovar no desenvolvimento de soluções para as questões ambientais.

Computadores chegam a desperdiçar até metade da energia que consomem com ociosidade, estando ligados quando não estão sendo usados. Estima-se que cada PC gere cerca de uma tonelada de dióxido de carbono por ano [11]. Essa agressão ao meio ambiente cresce exponencialmente quando tem-se uma rede corporativa com centenas e até milhares de computadores, cada uma com um usuário diferente, porém com cargas de trabalho semelhantes e as mesmas fragilidades de ociosidade no consumo. Sendo assim quanto mais recursos de computação são utilizados mais energia é gasta, e uma maior produção de energia é necessária, o que acarreta um maior impacto ao meio ambiente.

Dessa forma, a ideia de um consumo consciente é necessária e pode ser baseada em atitudes simples: reduzir, reutilizar e reciclar. Reduzir o consumo de energia, por exemplo, e a ociosidade dos recursos, foco deste estudo. Reutilizar componentes por meio do reaproveitamento dos que ainda respondem bem às funções que motivaram seu desenvolvimento. Reciclar, atrelando outra função aos que não correspondem mais a sua atividade original. O consumo de energia está nas premissas das discussões dos diretores executivos (*CEO's*). De acordo com Srivastava et al., as organizações precisam aderir à cultura da sustentabilidade em todos os processos, normas e funções, inclusive nos relacionamentos externos (*stakeholders*) [24]. Entende-se por desenvolvimento sustentável aquele que atende às necessidades das presentes gerações sem comprometer a disponibilidade de recursos para atendimento das necessidades das futuras gerações nos aspectos: econômico, social e ambiental.

1.1 O Problema

O desperdício dos recursos devido a ociosidade produz impactos econômicos e naturais. Esses impactos tornam-se mais graves ao escalonar o mau uso. Em uma residência pode-se ter apenas os impactos causados por uma pessoa o que poderia ser relativizado. Mas em uma empresa que tem centenas e até milhares de usuários, cada um com uma máquina, com a necessidade de constantes atualizações nessas centenas de máquinas na rede corporativa, proporcionam-se impactos mais agressivos, desde poluição do meio ambiente, pelo descarte

inadequado de componentes eletrônicos, até o alto consumo de energia. Este estudo tem como finalidade produzir uma arquitetura para reduzir o consumo energético dos computadores interconectados pela rede corporativa, tendo em vista a importância de reduzir o consumo de energia, reduzindo a ociosidade e os danos ao meio ambiente, para incrementar a eficiência e a efetividade em aspectos econômicos e ambientais.

1.2 Objetivos

Tendo em vista o impacto do desperdício causado pela ociosidade e o custo do consumo inconsciente, tem-se como objetivo geral a economia do consumo de energia da rede corporativa por meio do gerenciamento dinâmico de energia (GDE) dos computadores e do compartilhamento das informações de consumo coadunados ao servidor. Busca-se uma arquitetura de gerenciamento de energia que reflita em uma maior eficiência energética, tendo em vista os subconjuntos de computadores que apresentam características similares e o consumo total dos demais computadores dessa rede. Essa arquitetura, por meio do servidor, aplica políticas de gerenciamento de energia nos computadores clientes, essa política deve respeitar as penalidades de desempenho e um orçamento estimado para o período, a fim de obter uma maior economia no consumo da rede corporativa, caracterizado pela soma das potências consumidas nas máquinas interconectadas.

Foram feitas comparações entre as políticas mais utilizadas, algoritmos estado da arte, com foco na eficiência quanto ao gerenciamento de energia em máquinas (clientes, computadores locais), com a intenção de compará-los, buscando características que reforçassem a viabilidade de uma política dinâmica que obtivesse ganhos quando à eficiência energética de uma rede local, atuando em possíveis fragilidades das técnicas comparadas. O cenário escolhido para o estudo foi o de grandes empresa tais como *call centers* como rede corporativa, visando a implementação da arquitetura proposta por Cadaval et al. [8] atrelada a um módulo de adequação ao orçamento, tendo vista a semelhança entre as cargas de trabalho dos clientes.

1.3 Estrutura da Dissertação

Os capítulos seguintes estão organizados de forma que no Capítulo 2 encontra-se uma análise do estado da arte quanto ao gerenciamento de energia, classificando as técnicas quanto a metodologia de gerenciamento implementada. No Capítulo 3 é feito um estudo de viabilidade de novas técnicas de gerenciamento de energia. Mostrando assim a possibilidade de ganhos quanto a eficiência energética quando comparadas as técnicas que compõem o estado da arte.

O Capítulo 4 apresenta a implementação da arquitetura de gerenciamento de energia para redes corporativas proposta por Cadaval et al em [8] como a metodologia que apresenta melhores resultados quanto à eficiência energética, citando os módulos principais e descrevendo seu funcionamento e seus resultados. Tendo em vista os resultados apresentados por Devadas et al. [10] fez-se necessário um novo módulo à arquitetura.

O Capítulo 5 apresenta o módulo de gerenciamento de energia baseado em um orçamento o qual complementa a arquitetura apresentada neste trabalho, Capítulo 4, simulado por meio do software MatLab, expondo a execução de um estudo de caso que apresenta bons resultados tendo em vista a adequação do consumo da rede para um dado orçamento.

No Capítulo 6 são discutidos os resultados obtidos nos experimentos dos capítulos anteriores expondo a viabilidade da técnica simulada no Capítulo 5, suas limitações, assim como a possibilidade de evolução da pesquisa em trabalhos futuros.

Capítulo 2

Trabalhos Relacionados

Os esforços quanto ao gerenciamento de energia sempre estiveram presentes na evolução dos sistemas computacionais. A partir de 1996 são mencionadas na literatura mudanças nos componentes do *hardware*, estas iniciadas com técnicas implementadas diretamente em processadores, Intel 486-DX. Porém, soluções em níveis mais altos se faziam necessárias surgindo assim o termo ACPI, *Advanced Configuration and Power Interface* [17].

Dessa forma, o uso de métodos de gerenciamento de energia tornaram-se cada vez mais frequentes, visando a eficiência energética. Várias técnicas de gerenciamento foram desenvolvidas, pesquisas e arquiteturas de sistemas que buscassem soluções adequadas a cada cenário [21] mediante um gerenciador de energia (*governor*) ou esforços em gerenciamento e economia de energia em nível de *hardware*.

Na indústria, Smith et al.[23], em seu estudo de caso, expõe a importância e os resultados obtidos com métodos usados na Nissan para gerenciamento e economia de energia. Na fase inicial do estudo, Smith implantou a rotina de ao fim do dia serem feitas medições dos gastos das atividades executadas, gerando assim os dados necessários às análises para estudo de métodos focados na eficiência energética. Nos dados analisados foi detectado que algumas atividades poderiam ser feitas em sequência, possibilitando o agendamento e a organização para os finais de semana (reorganizando a sequência de atividades e agendando o uso das máquinas). Com a mudança de toda a cultura organizacional da fábrica e com uma maior conscientização e participação dos colaboradores na gestão da energia, produziu-se um incremento significativo na produtividade, eficiência e economia no processo de produção, ao ponto dos próprios funcionários se adaptarem e defenderem que a única desvantagem do

processo era o fato de não se imaginarem na produção sem ele.

Tendo em vista as variadas técnicas de implementação e métodos de eficiência energética, Bolla et al. em seu estudo divide os esforços quanto ao gerenciamento de energia em três grupos gerais de técnicas [7]:

- Reengenharia: Voltada ao desenvolvimento e aprimoramento do *hardware* envolvido.
- Adaptação Dinâmica: esforço em modularizar o consumo, isto é, uma adequação do dispositivo ao contexto nele incluso.
- Troca de estados de energia (*sleep/standby*): a troca dos estados de energia e perfis de consumo de maneira consciente, visando uma maior economia na execução das atividades [13].

2.1 Reengenharia

Busca-se um dispositivo ciente de energia, concentrando o trabalho no projeto de elementos com maior eficiência energética como Ceuppens et al. [9] que, em seu estudo, demonstraram que as melhores oportunidades para economia de energia estão na simplificação de protocolos, melhores tecnologias, exposto por meio da otimização do uso do silício e de *software*.

Em resumo, a reengenharia representa a melhor possibilidade de produzir ganhos quanto a eficiência energética, porém é uma técnica muito custosa tanto quanto aos recursos necessários quanto ao tempo de desenvolvimento, teste e implementação, que para alguns cenários a torna inviável.

2.2 Adaptação Dinâmica

Nesse tipo de trabalho é buscada a adaptação do consumo de acordo com a demanda exigida ao dispositivo, tal qual o *Bluetooth Low Energy* (BLE) que busca equilibrar o consumo de energia, latência e taxa de transferência [12].

Grande parte dos esforços tem se concentrado no Gerenciamento Dinâmico de Energia (GDE). Pode ser citado *Dynamic Voltage Scaling* (DVS), uma técnica que permite alterar a tensão de um componente de acordo com a necessidade, como no trabalho de Lu et al.[16].

Também Srivastava et al. que dinamicamente define uma tensão e escalonamento de tarefas ou frequência de comunicação em dispositivos de rede, mostrando-se como uma técnica que busca um paralelo entre *hardware* e *software* [24]. Outra metodologia buscando alteração dinâmica de propriedades dos dispositivos é encontrada em Luiz et al. [27] que apresentaram uma técnica dinâmica para a seleção de *timeout* por meio de otimização.

Em resumo, a adaptação dinâmica é a técnica que mais evolui e apresenta ganhos significativos quanto a eficiência energética devido a sua adaptação as necessidades da carga de trabalho. Porém, é uma técnica que apresenta um custo de processamento alto o que em alguns casos acaba por impossibilitar sua implementação localmente, pois esse custo alto para economizar, devido ao constante processamento para que a técnica mantenha sua eficiência, tende a estagnar o consumo de potência da máquina, pois o que a política economiza ela também consome com processamento e análise da carga de trabalho.

2.3 Troca de estados de energia

Integrando o gerenciador de energia do sistema operacional com alteração dos estados dos componentes da máquina foi proposta por Vilar et al. [26] uma estrutura de *software* para gerenciamento de energia à nível de usuário, com uma arquitetura flexível para ser adaptada às diferentes condições e cargas de trabalho. Em resumo, é a técnica mais rápida a ser implementada que apresenta ganhos quanto à eficiência energética durante a execução da carga de trabalho, porém é uma técnica que depende de ações externas do usuário ou de políticas implementadas em *software*, o que acaba por reduzir a eficácia da técnica.

Quando essas ações de troca de estados de energia dependem do usuário podem não ser aplicadas adequadamente e quando é um *software* dependendo da política (estática ou dinâmica) o custo de potência relacionado ao religamento do componente pode proporcionar até mesmo um aumento no consumo. Outra limitação é o fato de que alguns dispositivos não apresentam a possibilidade de serem feitas trocas nos estados de energia.

2.4 Técnicas Mistas

Caracterizadas pelo uso em conjunto de mais de uma das técnicas expressas anteriormente, pode-se citar esforços como o de Lu e Niyato [20], que agregaram à adaptação dinâmica a alteração dos estados de energia dos dispositivos das máquinas interconectadas (comunicação máquina a máquina, M2M), as técnicas mistas têm se tornado cada vez mais frequentes, visando um aumento na automação do sistema.

Outro exemplo é encontrado na arquitetura proposta por Cadaval [8], que por meio do aproveitamento do uso de métodos M2M na troca de informações entre as máquinas, busca ganhos quanto à eficiência energética da rede.

Uma das principais questões envolvendo a eficiência energética refere-se ao desempenho dos sistemas, pois a redução do consumo de energia não pode implicar em perdas significativas em desempenho. Outras limitações podem interferir no gerenciamento de energia, por exemplo, nos métodos usados por Lu et al. [20] e Cadaval et al. [8], gerenciamento por meio do aproveitamento energético dos estados de energia (ligado, desligado, *standby*), têm-se o fato do gerenciamento ser feito tendo a rede como pré-requisito, logo, os dispositivos que não estão ligados/ativos perdem a comunicação com o servidor, saindo da rede e impedindo outros ganhos no gerenciamento de energia.

No contexto de redes corporativas, é notória a vasta gama de alternativas, técnicas e comportamentos que podem ser estudados e detectados como recursos à economia de energia. Um exemplo está no trabalho de Niewiadomska-Szynkiewicz et al., que consegue economizar energia em uma rede por meio de otimizações implantadas nos protocolos de comunicação, roteamento e troca de pacotes [19]. Uma característica interessante desse trabalho é o aproveitamento dos intervalos de tempo em que um dispositivo estaria com baixo consumo de energia, ocioso. Nesses intervalos o dispositivo é desligado e assim se reduz o consumo de energia da rede. Claro que no trabalho de Niewiadomska-Szynkiewicz et al., esse dispositivo seria um roteador que estaria subutilizado, proporcionando assim a possibilidade de otimização do protocolo de roteamento, que permite, em paralelo, uma economia de energia influenciada pela estrutura, topologia e complexidade da rede em questão.

Embasados nesse estado da arte exposto por Ardito et al. [2] com aplicações em vários ramos da ciência da computação exemplificadas por Benini et al. [5] buscamos uma política

dinâmica que reduza o consumo de energia numa rede local do ponto de vista de grandes empresas tais como *call centers* no contexto de rede local/corporativa, baseada na arquitetura proposta no trabalho de Cadaval et al.[8] em 2013.

Devadas et al. [10] expõem em seu trabalho a viabilidade de uma técnica similar, que combina a mudança de frequência ao desligamento automático de dispositivos ociosos, implementada localmente e um algoritmo $O(m \log m)$ de gerenciamento de energia, assumindo que um dispositivo não pode ser desligado completamente durante a execução.

Tendo em vista que nos resultados apresentados por Devadas et al. para provar a significância de seus dados foi utilizada simulação, a arquitetura exposta por Cadaval et al. foi mantida e uma possível implementação é exposta no Capítulo 4.

2.5 Orçamento de Energia

Técnicas de gerenciamento de energia de modo centralizado e global apresentam melhores resultados e balanceiam muito bem questões de desempenho e eficiência energética dada a variação de carga de trabalho, atrelando o gerenciamento dinâmico de energia sobre uma restrição de orçamento [14].

Um orçamento adequado é um requisito cada vez mais importante para as operações em *data centers*. Maximizar o SNP (*system normalized performance*, desempenho do sistema normalizado) para um determinado orçamento de energia é equivalente a maximizar a eficiência energética [29]. Em seu trabalho, Xin et al. demonstraram que o método de alimentação do orçamento proposto supera métodos anteriores por 3-4% em termos de SNP utilizando o ambiente de simulação do centro de dados. Embora mantendo a melhoria do SNP, seu método de melhoria da equidade alcança na melhor das hipóteses em um ganho de 57% sobre o consumo.

Tendo em vista a possibilidade de maximização do desempenho para um dado orçamento de energia Zhan et al. [28] propuseram o particionamento desse orçamento entre o *cooler* e as CPU's em *data centers* com técnicas ótimas de definição do orçamento para cada servidor. Dessa forma, ressaltando a importância e influência de uma boa estimativa para o consumo, considerando cargas de trabalho heterogêneas.

Distribuir um Orçamento de Energia para cada atividade dentro de um *cluster* e base-

ado nele fazer o gerenciamento dinâmico da frequência pode produzir ganhos de até 40%, maximizando a redução do consumo de energia, respeitando o orçamento definido [6].

Em resumo essa técnica tem como principal ponto positivo a possibilidade de melhor administrar os custos monetários com energia elétrica (kWh), porém é uma técnica que depende de ações e componentes externos para ser precisa, pois estimar o consumo de um conjunto de máquinas é algo limitado.

Capítulo 3

Estudo de Viabilidade

Inicialmente foram feitas análises, por meio de comparação, dos métodos de gerenciamento de energia implementados localmente nas máquinas cliente (*desktops* e *notebooks*) para validar a eficácia das técnicas estado da arte. Dada essa comparação, uma análise comparativa de sua eficiência é necessária, visando a detecção de limitações/fragilidades que viabilizem a implementação de novas técnicas no contexto de rede corporativa, que corrigindo essas limitações e atuando nas fragilidades proporcione maior eficiência energética. Por exemplo, dada a limitação de ambas serem estáticas, espera-se que para um mesmo conjunto de fatores (carga de trabalho, máquinas e tempo), a variação do consumo não seja tão significativa. Caso não aconteça expõe-se a viabilidade de uma técnica dinâmica que apresente uma maior estabilidade do consumo e ganhos quanto à eficiência.

Este estudo de viabilidade foi norteado pelos seguintes parâmetros.

- *Questão de Negócio*. É possível economizar mais energia em um ambiente corporativo tendo em vista a escalabilidade da quantidade de máquinas integrantes da rede?
- *Problema de Negócio*. Economia de Energia em uma rede corporativa. Seria possível e como poderia ser feito a redução do consumo de energia, sem perda de produtividade e eficiência, de forma a aproveitar a comunicação dentro de uma rede local (corporativa)?
- *Problema Técnico*. É possível criar uma técnica de gerenciamento dinâmico de energia que implique em um menor consumo de energia dentro de uma rede corporativa?

3.1 Objetivo

Esta fase do estudo tem o seguinte objetivo, expresso pelo *template* GQM [4].

Analisar a eficiência dos algoritmos estado da arte quanto à sua eficácia no gerenciamento de energia em *desktops* ou *notebooks*, com a intenção de compará-los e buscar características que reforcem a possibilidade de uma política dinâmica que melhore seu desempenho com respeito ao consumo de potência em uma rede local do ponto de vista de grandes empresas como *call centers* no contexto de rede corporativa tendo em vista sua escalabilidade.

Sendo assim, tem-se a intenção de avaliar qual das técnicas de gerenciamento de energia apresenta um melhor desempenho e pode nortear outros trabalhos de técnicas/políticas para o gerenciamento de energia tendo em vista o escopo de uma rede corporativa.

3.2 Metodologia

Foram considerados como dados as medições de potência instantânea coletadas por meio do dispositivo *Watts Up? .Net* (Equipamento de medição de grandezas elétricas) a cada minuto durante 5 dias (aproximadamente 120 horas). Sabe-se que o consumo de potência do computador é influenciado pelo uso ou não de algoritmos de gerenciamento de energia. Sendo assim foram utilizados os algoritmos mais recentes e considerados estado da arte quanto ao gerenciamento de energia local em *desktops*. Esses algoritmos foram analisados segundo as seguintes características:

1. sobre os dados: os dados coletados fazem referência à coleta empírica da potência instantânea de dois computadores no decorrer do tempo de execução de um *benchmark* que simulou uma certa carga de trabalho.
2. plataforma experimental utilizada.
 - Duas máquinas com sistema operacional *Windows 7 Professional*,
 - Placa de rede *Tp-Link 150Mbps Wireless N - TL-WN751ND*,
 - Placa mãe *Assus P5KPL-AM*,
 - Processador *Core 2 Duo*,

- Memória DDR2 de 3GB,
 - HD SATA 500GB,
 - Fonte 500W,
 - Monitor Sync Master 740N - 60/50Hz 0.7A,
 - Demais periféricos idênticos.
3. sobre a rede: para o contexto atual considerou-se como estando em rede, dois computadores ligadas pelo mesmo filtro de linha e seus consumos sendo coletados por meio do Watts Up? .Net, conectado a ele. Foram usadas apenas duas máquinas devido às condições disponíveis no laboratório usado para os testes e a capacidade suportada pelo dispositivo, Watts Up? .Net, que é de 726W.
 4. sobre a carga de trabalho: tendo em vista a dificuldade de ter cargas de trabalho idênticas para duas máquinas distintas, foi utilizado o *workbench* PC Mark 8, versão gratuita, para simular uma carga de trabalho de escritório (*Work*, no programa em questão).
 5. sobre os experimentos: o fator de análise é a política de gerenciamento de energia, implementada no *software* Bateria, utilizada buscando identificar qual apresenta menor consumo tendo em vista o método de gerenciamento utilizado : políticas de *timeout*, preditivas com algoritmos baseados em inteligência artificial, etc. As técnicas de gerenciamento de energia utilizadas como fator do experimento foram:
 - três políticas padrão implantadas no sistema operacional assumindo os níveis: Alto desempenho, Equilibrado e Economia de energia.
 - quatro políticas implementadas no *software* de gerenciamento de energia Bateria em sua versão 1 (2.1.6.100), onde é definido um *timeout* estático que desliga a interface de rede após o dispositivo ultrapassar o dado *timeout* ocioso assumindo os níveis: Alto desempenho, Equilibrado, Economia de energia, Bateria.
 - quatro políticas implementadas no *software* de gerenciamento de energia Bateria em sua versão 2 (com políticas preditivas para interface de rede 2.1.6.208), onde o *timeout* é escolhido dinamicamente. A interface de rede é desligada se ela

permanece ociosa durante o período de *timeout*, e é religada após um outro *timeout* estimado assumindo os níveis: Alto desempenho, Equilibrado, Economia de energia, Bateria.

3.3 Análise dos Dados

Para cada técnica de gerenciamento utilizada foram feitas três iterações com a carga de trabalho simulada pelo *benchmark*. As análises expostas a seguir foram feitas no *software* para análises estatísticas R. Sendo assim temos: 11 políticas, cada uma sendo repetida 3 vezes e coletando-se a potência consumida a cada segundo da execução da carga de trabalho, resultando em 33 tratamentos pareados. Tendo em vista um número de tratamentos superior a 30 e a grande quantidade de dados gerados em cada tratamento (aproximadamente 3600 amostras coletadas com um período de amostragem de 1 segundo), foi assumida a normalidade dos dados coletados e a serem analisados, tendo em vista o Teorema do Limite Central. Os gráficos gerados a partir da função *qqnorm* e *qqline* [15] fortaleceram a hipótese da normalidade dos dados. Os gráficos gerados a partir das coletas feitas são apresentados na Figura 3.1.

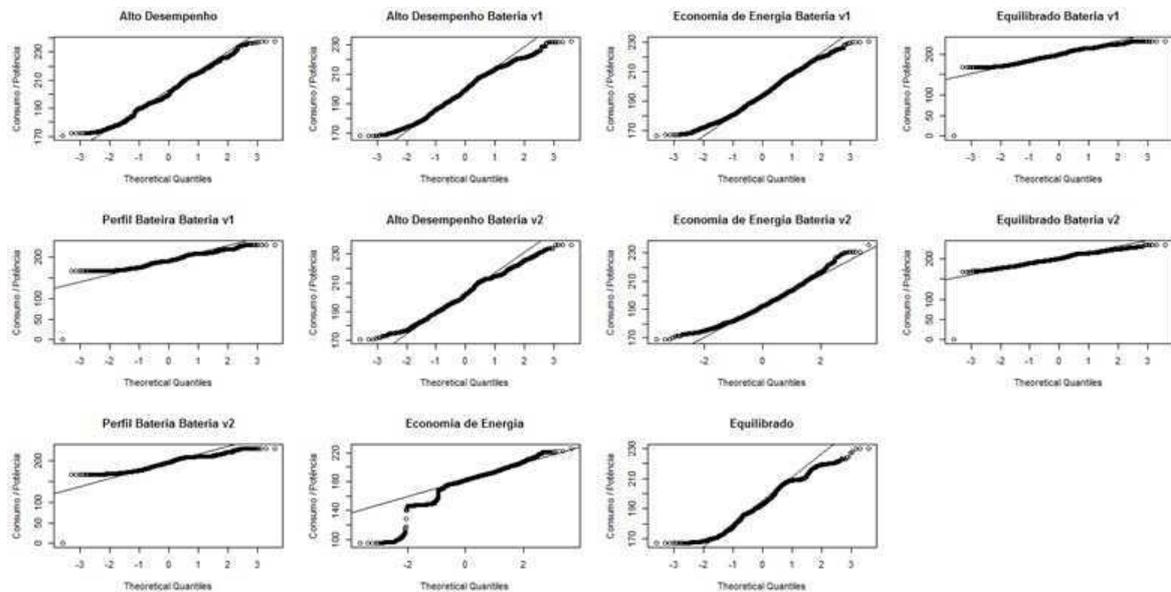


Figura 3.1: Plots de representação de normalidade, por meio da função R *qqnorm* para cada coleta em uma dada técnica.

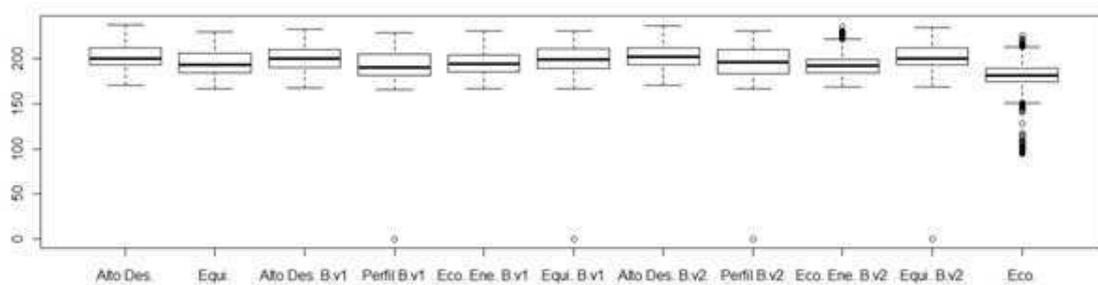


Figura 3.2: *BoxPlots* de sumarização de coletas para cada técnica.

Sendo assim, uma primeira comparação sobre os dados poderia ser feita a partir dos *boxplots* [15] apresentados na Figura 3.2. A partir do gráfico apresentado na Figura 3.2, podemos perceber que o *boxplot* referente à potência consumida pela carga de trabalho com a técnica Alto Desempenho do sistema operacional apresentou o maior consumo quando comparada com as demais técnicas. Já a técnica Economia de Energia do sistema operacional apresentou o menor consumo em relação às demais técnicas. São apresentadas a seguir análises sobre os dados e testes mais robustos que apresentem um maior poder e significância. Tendo em vista a normalidade do dados, o fato das coletas terem sido feitas no experimento de forma pareada e independente, foi usado o teste *oneway.test()* [15]:

```
One-way analysis of means (not assuming equal variances)
data: grupos$potencia and grupos$indice
F = 596.3833, num df = 10.00, denom df = 13543.27, p-value < 2.2e-16
```

Figura 3.3: Saída encontrada no software R para a função *One-Way* no qual dado o *p-value* pode-se desconsiderar fortemente a hipótese nula das coletas serem iguais. Isto é as coletas são diferentes.

A partir do resultado do teste *oneway.test()* pode-se inferir que as coletas apresentam diferenças significativas. Porém, a partir desse resultado, poucas inferências podem ser feitas sobre cada técnica. Para preencher essa lacuna na comparação entre as técnicas de gerenciamento de energia, foi usado o *pairwise.t.test()* [15] que analisa as técnicas duas a duas de forma completa, tendo assim um *design* fatorial completo. Ao comparar cada técnica

temos como hipótese nula que "as duas técnicas apresentam uma média de consumo igual" e hipótese alternativa de que "a primeira técnica apresenta um média maior que a segunda". Com significância de 95% encontramos os valores expressos na Figura 3.4 para o *p-value*. Quando este é menor que 0,05, é possível rejeitar a hipótese nula. Sendo assim temos:

```
Pairwise comparisons using t tests with pooled SD
data:  grupos$potencia and grupos$indice
  1      2      3      4      5      6      7      8      9      10
2 1.0000 -      -      -      -      -      -      -      -      -
3 1.0000 < 2e-16 -      -      -      -      -      -      -      -
4 1.0000 < 2e-16 < 2e-16 -      -      -      -      -      -      -
5 1.0000 < 2e-16 1.0000 1.0000 -      -      -      -      -      -
6 1.0000 < 2e-16 0.1412 1.0000 1.0e-15 -      -      -      -      -
7 1.0000 < 2e-16 < 2e-16 1.0000 < 2e-16 < 2e-16 -      -      -      -
8 1.0000 < 2e-16 < 2e-16 1.2e-10 < 2e-16 < 2e-16 5.1e-16 -      -      -
9 1.0000 < 2e-16 2.8e-07 1.0000 < 2e-16 0.0681 1.0000 1.0000 -      -
10 1.0000 < 2e-16 1.0000 1.0000 0.0025 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 -
11 1.0000 < 2e-16 < 2e-16 2.0e-05 < 2e-16 < 2e-16 1.9e-09 1.0000 < 2e-16 < 2e-16
```

Figura 3.4: Saída encontrada no software R para a função *pairwise.t.test* no qual todas as técnicas são comparadas duas a duas -(design fatorial completo).

A partir dos resultados apresentados na Figura 3.5, o seguinte ranking de ordenação das políticas pode ser elaborado, o qual representa o indicador de melhor técnica (entre as comparadas na carga de trabalho simulada):

1. Economia de Energia (Menor Potência / Consumo de energia - Melhor Técnica de gerenciamento das comparações feitas).
2. Economia de Energia Perfil Bateria versão 1.
3. Economia de Energia Bateria versão 2.
4. Equilibrado.
5. Economia de Energia Bateria versão 1.
6. Economia de Energia Perfil Bateria versão 2.
7. Equilibrado Bateria versão 1.
8. Alto Desempenho Bateria versão 1.

9. Equilibrado Bateria versão 2.
10. Alto Desempenho.
11. Alto Desempenho Bateria versão 2 (Maior Potência / Consumo de energia)

Dentre as técnicas analisadas, verifica-se que o Economia de Energia foi o que apresentou um menor consumo de energia e o Alto Desempenho uma maior consumo de energia. Porém, algumas ressalvas devem ser feitas quanto à técnica Economia de energia, técnica interna do sistema operacional, não pode ser definido como a melhor técnica no contexto atual devido ao grande número de *outliers*, estes devido às mudanças feitas pelo sistema operacional durante a execução e alteração dos eventos e contextos internos a técnica, como pode ser visto na Figura 3.2.

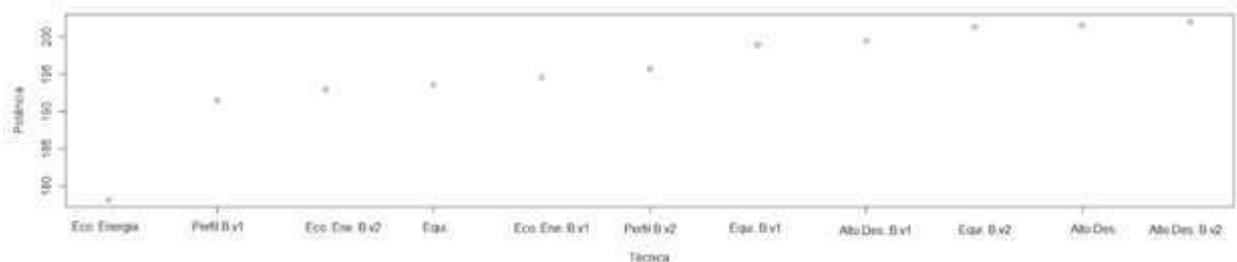


Figura 3.5: Potências médias das técnicas, ordenadas de forma crescente.

Tem-se assim que para a técnica na qual foram encontrados os melhores resultados, não apresenta-se como uma solução ótima, pois além de apresentar muitos valores que destoam dos demais em uma carga de trabalho constante, esses valores propiciaram a representação de uma maior eficiência. No entanto as demais técnicas apresentaram pouca variação e quando comparadas grande parte dos conjuntos foi dado como semelhante. Tendo em vista as falhas quanto ao gerenciamento de cargas de trabalho constante com pouco aproveitamento dos perfis na implementação das soluções locais encontramos a possibilidade de produzir ganhos quanto a eficiência energética. Dessa forma foi escolhido o contexto de rede corporativa como escopo para os estudos apresentados nos próximos capítulos, aplicando a técnica de gerenciamento de energia na rede local a troca de informações, centralizadas em uma máquina do tipo *server* apresentado assim a implementação da arquitetura proposta por Cadaval et al. [8] explicada no capítulo 4.

Capítulo 4

Arquitetura para o Gerenciamento de Energia em Ambientes Corporativos

Podemos considerar rede corporativa o conjunto de máquinas e dispositivos (*desktops*, impressoras, *notebooks*, etc.) conectados a um servidor, como exposto na Figura 4.1, na qual tem-se a topologia da uma rede simples, com diversos usuários executando tarefas nos computadores interconectados, compartilhando recursos, serviços, Internet, impressoras, entre outros.

Ganhos quanto à eficiência energética podem ser alcançados por meio da alteração dos estados de energia (ligado, desligado, *standby*) dos componentes [1]. Dado que por menores que sejam os ganhos de eficiência energética nos componentes computacionais, ao expandir o número de componentes em grande escala, tal qual uma rede corporativa com centenas e até milhares de máquinas, tem-se um impacto significativo nos custos e a redução das agressões ao meio ambiente. Possibilita-se assim o desenvolvimento de técnicas de gerenciamento de energia sustentáveis dado o aproveitamento dos recursos disponíveis (TI verde).

Em redes corporativas, é importante diferenciar a aplicação de técnicas de gerenciamento de energia no domínio do sistema computacional isolado (cliente) e no domínio do administrador da rede (servidor). As máquinas clientes, possuem grande variação de uso, tendo em vista as mais diversas interrupções, o que não deve ocorrer no servidor. Os usuários/colaboradores da rede corporativa, Clientes, possuem uma significativa alteração na carga de trabalho, parada para almoço ou mesmo o fim do expediente. Muitas vezes as atividades executadas na rede tem horários de funcionamento variável em turnos diferentes. Essa varia-

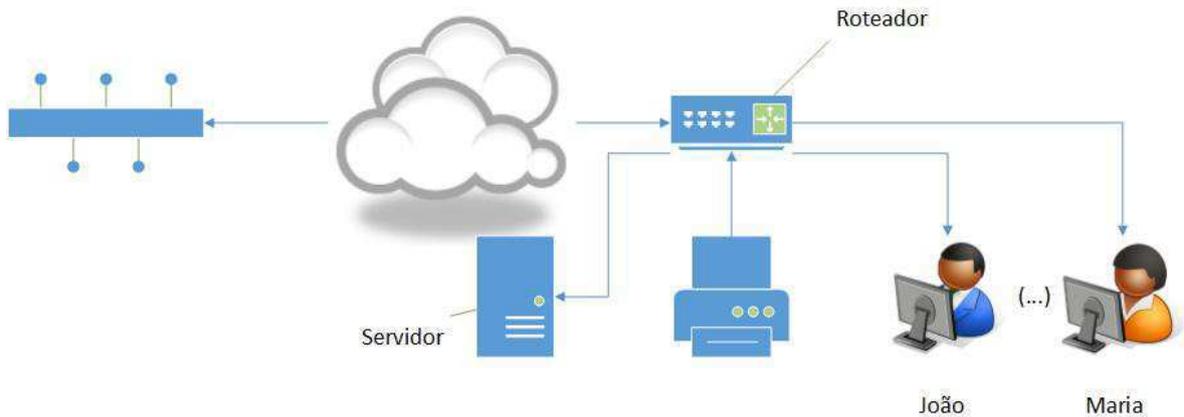


Figura 4.1: Topologia de rede corporativa.

ção nas atividades possibilita a aplicação de técnicas de gerenciamento dinâmico de energia (GDE), que utilizam informações locais nas máquinas dos clientes, como a técnica de *time-out* dinâmico para interfaces de rede e monitoramento de processos ociosos [27], ou técnicas que visem alteração de frequência do processador [16].

No domínio do servidor, é mais adequada a aplicação de configurações estáticas e cálculos comparativos para os clientes, tais como implementações de perfis, além da aplicação de ações agendadas para determinados períodos, como um *governor* com a função de desligar todos os LCDs no horário do almoço, pois aplicar as mesmas técnicas dos clientes no domínio do administrador causaria um *overhead* intenso e desnecessário de uso da rede, já que os estados observados e ações tomadas são locais. O agendamento de ações em determinados períodos é denominado aqui como política. Sendo assim Cadaval et al. [8] propuseram a uma arquitetura cliente/servidor expressa na Figura 4.4 e definida nas seções seguintes.

4.1 Descrição do Problema

Neste estudo, objetivam-se ganhos quanto à eficiência energética dos componentes (*desktops* e *notebooks*) na rede corporativa norteando-se pelos seguintes parâmetros.

- *Questão de Negócio.* É possível obter ganhos na eficiência energética de um ambiente corporativo tendo em vista a escalabilidade da quantidade de máquinas integrantes da rede corporativa, mantendo o desempenho?

- *Problema de Negócio*. Desenvolvimento de uma arquitetura visando a Economia de Energia em uma rede corporativa, baseada na arquitetura proposta por Cadaval et al. [8] que propicia uma redução do consumo de energia, sem perda de produtividade e eficiência na rede corporativa.
- *Problema Técnico*. As técnicas de gerenciamento dinâmico de energia (GDE) com um agendamento de tarefas atrelados à arquitetura em estudo implicam em um menor consumo de energia dentro da rede corporativa?

4.2 A Arquitetura

Baseando-se no modelo cliente-servidor, foi desenvolvido um *framework* de comunicação de processos pela rede. Essa comunicação é feita entre os clientes que solicitam de serviços e são responsáveis pelo gerenciamento local e prestador de serviços com o servidor que é responsável pelos processamentos no gerenciamento das políticas alocadas aos grupos de máquinas cliente.

4.2.1 O Cliente

As máquinas aqui tratadas como clientes apresentam-se com o uso de um *software* local de gerenciamento de energia (LEMU), que implementa as seguintes técnicas:

1. gerenciamento de componentes de hardware do computador aplicada quando detectada ociosidade, atuando com a alteração do estado de energia dos componentes, podendo deixá-lo em *standby* ou até mesmo desabilitado;
2. gerenciamento da frequência do processador adequando-a à necessidade da carga de trabalho;
3. gerenciamento dinâmico da definição dos *timeouts* usados na troca de estado de energia dos componentes.

Os clientes se integram ao sistema operacional, por meio de Modulo Fachada, para implementar as políticas enviadas pelo servidor e coletar os dados de consumo conforme a arquitetura expressa na Figura 4.2.

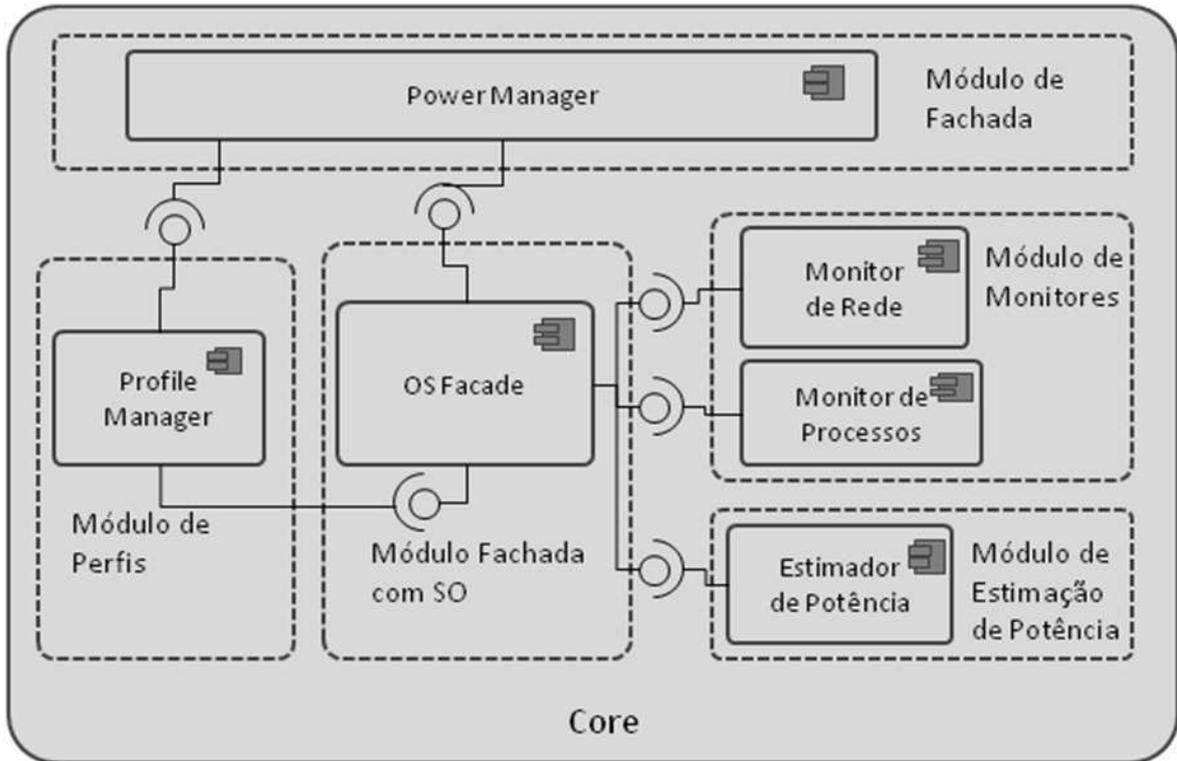


Figura 4.2: Arquitetura interna da aplicação cliente - LEMU.

4.2.2 O Servidor

Servidor GDE (CEMIS) é constituído de um serviço Web, acessível via um navegador, e possui um canal de serviço para se comunicar com os clientes. O servidor também possui um banco de dados, no qual são armazenadas as informações sobre o consumo das máquinas clientes, as suas configurações básicas e as políticas. Por meio do Servidor GDE, é possível:

1. gerenciar informações dos clientes;
2. coletar os dados dos clientes;
3. gerar relatórios;
4. armazenar/Executar políticas nos Clientes (ou grupo de clientes).

Na Figura 4.3 apresenta-se a arquitetura interna do sistema de gerenciamento de energia da rede corporativa implementada no servidor (CEMIS), com seus módulos e comunicação com a base de dados.

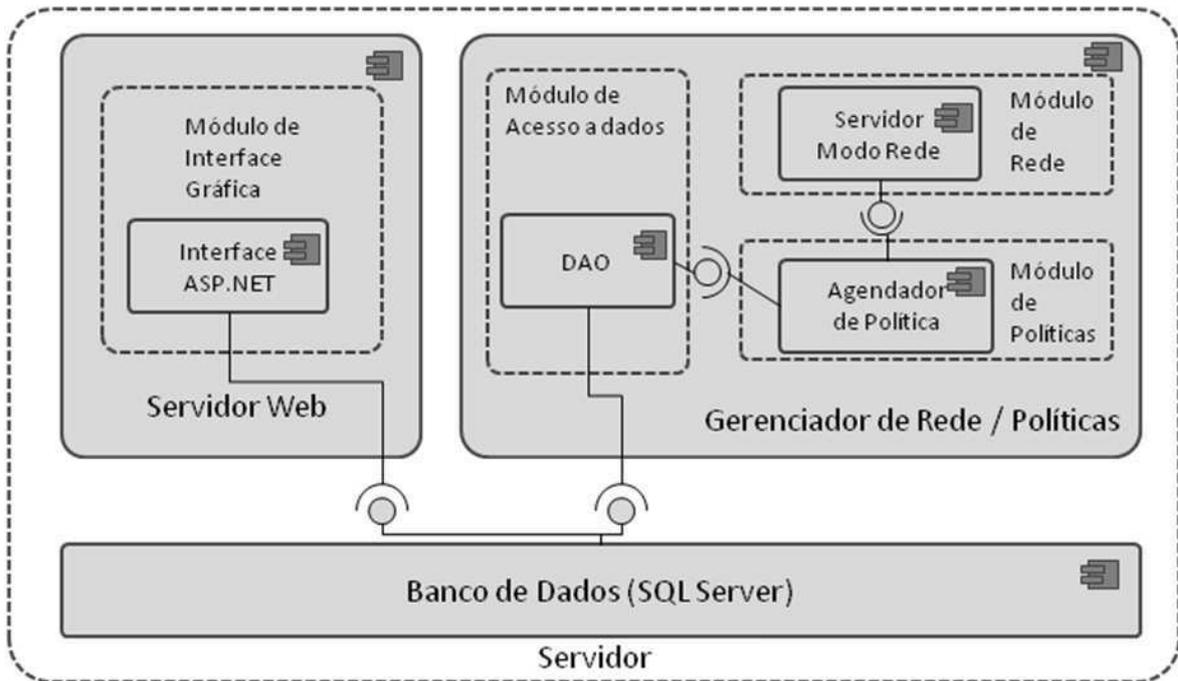


Figura 4.3: Arquitetura interna do sistema de gerenciamento da rede corporativa - CEMIS.

Temos assim, baseando-se na arquitetura proposta por Cadaval et al. [8], a implementação no Bateria (nome dado ao *software* que implementa a arquitetura) de uma versão visando gerenciamento das máquinas na rede corporativa, por meio da adição do módulo Rede (Bateria-RC). Proporcionando assim uma reorganização da topologia da rede por meio da interação com o servidor visando o agrupamento dos clientes que possuem uma carga de trabalho semelhante como exposto na Figura 4.4.

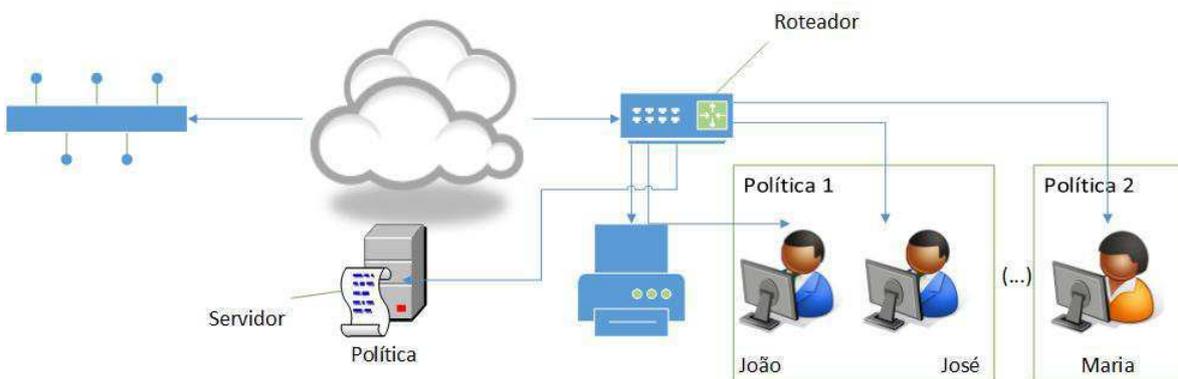


Figura 4.4: Nova topologia de rede corporativa.

Essa arquitetura pode ser definida da seguinte maneira:

1. módulo funcionalidade de implementação de políticas: adaptação dinâmica e alteração de estados de energia sleep/standby;
2. componente com função de gerenciamento concentrado *central energy management and intelligent system* - CEMIS, *software* que instalado no servidor da rede corporativa envia aos clientes as políticas ou comandos;
3. componente com função de gerenciamento local, *local energy management unit* - LEMU, *software* que instalado no computador cliente implementa os comandos ou políticas enviadas pelo servidor;

Foram realizadas medições de potência dos *desktops* por meio do equipamento de medição de grandezas elétricas, *Watts up? .Net*, com função de coleta de dados (*data logging*) de modo contínuo.

Na linha de atuação de GDE para redes corporativas, a plataforma alvo é um dispositivo computacional do tipo *desktop*, podendo ser utilizado também em *notebooks*. Para realizar a medição de potência do *desktop*, o *Watts up? .Net* é conectado à rede elétrica via a tomada para a rede elétrica, e a plataforma é conectada ao *Watts up? .Net* via a tomada para a plataforma alvo. A aquisição dos dados pode ser realizada por meio de um outro computador e conectado via USB ao *Watts up? .Net*. A aquisição dos dados é realizada num computador diferente da plataforma alvo, pois o software para aquisição de dados do *Watts up? .Net* requer uso de CPU e memória, que poderiam afetar as medições se o *software* estivesse sendo executado na própria plataforma alvo.

4.2.3 Políticas

Foram aplicadas nos clientes as seguintes políticas:

1. alterar os limites de frequência do processador dada a carga de trabalho;
2. alteração do estado de energia dos componentes dados como ociosos, respeitando o *timeout* dinâmico e as penalidades de desempenho;
3. implementar ações agendadas para determinados períodos (possivelmente com repetição), tais como:

- entre 12:00h e 14:00h, desligar as interfaces de redes;
- entre 12:00h e 14:00h, reduzir o brilho do LCD;
- entre 12:00h e 14:00h, ativar o perfil música;
- após 18:00h, desligar o computador.

4.3 Funcionamento

As configurações de perfis de usuário para as máquinas clientes são selecionadas, aplicando o perfil mais apropriado de acordo com as políticas e configurações de gerenciamento de energia para cada máquina cliente. Na aplicação de perfis e políticas nos clientes, dada a alteração via servidor, são alteradas as configurações e estados de LCD, interfaces de rede (*Ethernet* e *Wi-Fi*), processador, e o estado de energia das máquinas cliente como um todo. No entanto a realização de cada uma dessas alterações de estado e configurações dependerá da política escolhida para o cliente tendo em vista a adequação as limitações de desempenho.

Os clientes ficam aguardando o recebimento de mensagens, enviadas pelo servidor. Tais mensagens contêm as ações a serem realizadas, como a suspensão da máquina ou aplicação de algum perfil. Além disso, os clientes enviam periodicamente os dados de estimativa de potência dos componentes e da máquina como um todo, além das informações referentes aos componentes como o estado de energia e períodos de ociosidade.

O cenário considerado foi o de um dia de trabalho com quatro horas de expediente durante a manhã (8:00 às 12:00h) e quatro horas de expediente durante a tarde (14:00 às 18:00h), permanecendo o computador sem uso durante o resto do dia. Foi executado um *script* em *loop* durante o horário de expediente para simular uma carga de trabalho com programas de escritório e acesso à Internet. Foram comparadas duas situações:

1. sem gerenciamento de energia, em que o usuário mantém o computador ligado durante a madrugada, horário de almoço, e noite;
2. com gerenciamento de energia, em que o usuário também não desliga o computador, mas são enviados comandos, via o CEMIS, para suspender automaticamente o computador.

Como roteiro foram utilizados os seguintes passos para as medições:

1. computador sem gerenciamento de energia (sem LEMU/CEMIS), que permaneceu ligado durante todo o experimento com a execução de um *script* simulando a carga de trabalho:
 - (a) 8:00 às 12:00 *script* em *loop*,
 - (b) 14:00 às 18:00 *script* em *loop*.

2. computador com gerenciamento de energia (com LEMU/CEMIS):
 - (a) 8:00 liga manualmente,
 - (b) 8:00 às 12:00 *script* em *loop*,
 - (c) 12:00 vem o comando do servidor para suspender,
 - (d) 12:00 às 14:00 suspenso,
 - (e) 14:00 liga manualmente,
 - (f) 14:00 às 18:00 *script* em *loop*,
 - (g) 18:00 vem o comando do servidor para suspender,
 - (h) 18:00 às 8:00 suspenso.

4.4 Resultados Obtidos

A potência de cada computador foi medida por meio do Watts Up? e as medições são apresentadas na Figura 4.5. Verifica-se que a execução do *script* em *loop* durante os horários de expediente (8:00 às 12:00h e 14:00 às 18:00h) simulou uma carga de trabalho implicando num aumento de potência para ambos os computadores. Durante a execução da simulação de carga de trabalho percebe-se uma diferença quando comparam-se a máquina na qual o *software* foi utilizado e a máquina sem o *software*. Além disso, fora do horário de expediente, onde não havia simulação de carga de trabalho, a redução no consumo de potência no computador com *software* LEMU/CEMIS em relação ao outro foi mais significativa.

A potência média de cada computador ao longo do dia é apresentada na Tabela 4.1, em que verifica-se uma redução de 64,4 % na potência média. Para investigar o quanto essa redução no consumo implica em redução nos custos com energia elétrica no contexto da

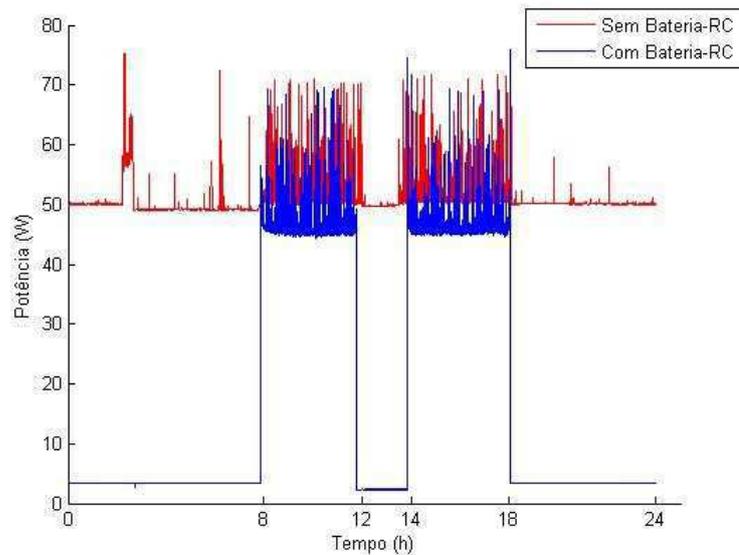


Figura 4.5: Medições com duração de 1 dia avaliando a potência média de desktops com e sem suspensão via CEMIS.

rede corporativa são necessários os valores de consumo para a localidade, os quais visando generalidade dos dados não foram expressos. Apesar desses resultados, Devadas et al. [10] em seus estudos produziram ganhos no gerenciamento local de máquinas tendo em vista implementações semelhantes sem a necessidade da centralização das informações em um servidor. Porém os resultados encontrados por ele foram validados apenas em simulações produzindo uma fragilidade dos resultados por ele obtidos.

Máquinas	Potência média (W)	Redução de potência média
Sem LEMU/CEMIS	50,79	-
Com LEMU/CEMIS	18,09	64,4%

Tabela 4.1: Redução de potência média com o LEMU/CEMIS.

4.5 Conclusão

A implementação da arquitetura de gerenciamento de energia proposta por Cadaval et al. [8] baseada no modelo cliente/servidor [8] apresenta ganhos significativos, quando comparada à execução das atividades atreladas à carga de trabalho com o gerenciamento padrão do sis-

tema operacional, contudo, tendo em vista a possibilidade do gerenciamento abordado nesse capítulo ser implementado apenas localmente como apresentado por Devadas et al. [10], no capítulo seguinte é apresentado um módulo de orçamento de energia para o consumo das máquinas na rede corporativa a ser associado à arquitetura, baseando-se na técnica usada no contexto de *cloud computing* por Xin et al. de adequação do consumo a um orçamento [29]. Buscou-se um gerenciamento eficiente de energia que se adeque às restrições de desempenho e de orçamento para o período.

Capítulo 5

Módulo de Orçamento de Energia

Planejar é estabelecer com antecedência ações a serem executadas, estimar recursos que serão necessários e alocados, assim como atribuir as responsabilidades em relação a um período futuro pré-determinado. Desta forma, é possível identificar a existência de oportunidades e restrições tanto no âmbito interno quanto externo da organização [22]. Sendo assim, neste capítulo é descrito o experimento realizado por meio de simulação para definir a técnica de gerenciamento de energia, baseada na mudança de perfis unida à adequação dos limites de frequência de uso da CPU da máquina com a finalidade de adequação a um dado orçamento de energia planejado para o período em análise.

- *Problema de Negócio.* Economia de Energia em uma rede corporativa. Aprimorar a arquitetura proposta por Cadaval et al. [8] propiciando uma redução do consumo de energia, sem perda de produtividade e eficiência na rede corporativa.
- *Problema Técnico.* É possível criar uma técnica de gerenciamento dinâmico de energia que implique em um menor consumo de energia dentro de uma rede corporativa dada uma restrição de orçamento para o período?

A implementação a nível de simulação de uma política que se adeque ao orçamento de energia foi estudada por meio das seguintes etapas:

1. método de previsão do consumo;
2. existência de sazonalidade;

3. previsão do consumo baseado em séries temporais com sazonalidade simples;
4. validação da metodologia de previsão;
5. projeto de simulação;
6. análise comparativa dos dados;
7. resultados obtidos;

Todos os cálculos e a simulação foram implementados por meio do *software* MatLab em sua versão R2014a. Um *link* ¹ para *download* do pacote com todos os *scripts* e análises estatísticas podem ser encontradas ao final deste documento.

5.1 Método de Previsão do Consumo

O consumo foi coletado, por meio do *Watts Up?*, de maneira contínua durante 28 dias, de minuto em minuto, de uma máquina com uma carga de trabalho de escritório, com perfil de energia padrão do Windows, Equilibrado, com frequência do processador variando entre 5% e 100%. Para adequar-se a um dado orçamento, se faz necessário uma previsão do consumo para o período subsequente, aqui considerado como os próximos 28 dias. Assim é necessário uma estimativa, tendo em vista a política aplicada no estado atual. Dado que a coleta foi feita de maneira contínua no tempo, pode-se assumir que os dados representam-se como uma série temporal [25]. Assim pode-se modelar matematicamente a demanda futura do consumo das máquinas no período em análise por meio de métodos de previsão matemática respeitando-se as características dos dados coletados.

5.2 Existência de Sazonalidade

Tendo em vista a independência da demanda, consumo de energia, uma análise sobre os dados deve ser feita mostrando a possibilidade de correlação entre eles. Por meio da função *xcorr()* do MatLab foi produzido o gráfico expresso na Figura 5.1 no qual pode-se notar que há correlação entre alguns períodos.

¹<https://goo.gl/Kom269>

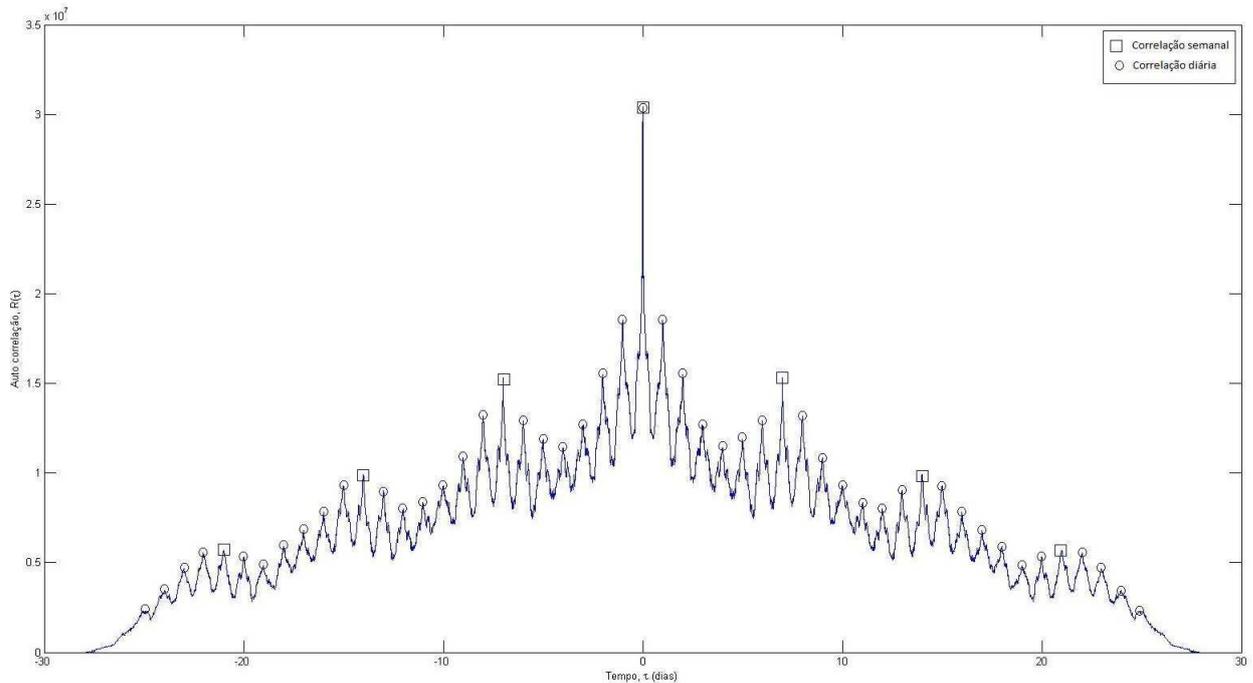


Figura 5.1: Correlação Cruzada do Consumo para o período de coletas inicial.

Por meio da Figura 5.1 percebe-se a presença de correlação em vários instantes, porém algumas características devem ser levadas em consideração, pois, a correlação diária tem uma redução significativa em seus picos assim como na correlação semanal, expressa pelos picos nos dias que se apresentam como múltiplos de 7. Contudo, tendo em vista a probabilidade de na relação dia a dia haver alterações maiores que na relação semanal, assumiu-se por base a correlação semanal em detrimento à diária. Sendo assim, a sazonalidade semanal dos dados coletados foi assumida na fase inicial do estudo, isto é, deve existir uma razão plausível para a ocorrência e posterior repetição dessas variações semanalmente, possibilitando assim a previsão da demanda baseada na sazonalidade simples [25], haja vista que os dados além de independentes não apresentaram tendência.

5.3 Previsão do Consumo Baseado em Séries Temporais com Sazonalidade Simples

A técnica de previsão do consumo baseado em séries temporais com sazonalidade simples consiste no cálculo dos Índices de Sazonalidade, obtidos a partir da razão entre a média

i e sua média centrada no período, para cada período de sazonalidade (tendo em vista a sazonalidade semanal temos como período o valor de 7 dias) e aplicá-los à previsão da média em cada um desses períodos [25].

O cálculo de previsão da demanda foi implementado por meio de *scripts* no MatLab na função `Previsao_de_Consumo_Padrao.m` no pacote com todos os *scripts* e dados utilizados nesse estudo e exposto no Código Fonte 5.1, no qual são feitos os cálculos dos índices de sazonalidade para o período como expresso pela variável *previsao.IS* que será aplicada à tendência expressa pela variável *MMCmedio* e da média centrada para o período de sazonalidade de 7 dias na variável *MMC*.

Código Fonte 5.1: Procedimento de previsão baseada em sazonalidade simples

```
1 function [ previsao ] = Previsao_de_Consumo_Padrao( demanda , periodo )
2
3     comprimento_demanda = size(demanda , 1);
4     previsao = struct ;
5     previsao.demanda = 0;
6     previsao.erro = 0;
7     previsao.J = 0;
8     previsao.MAD = 0;
9     previsao.IS = 0;
10    previsao.consumo = 0;
11
12    if (comprimento_demanda < periodo)
13        return
14    end
15
16    previsao.demanda = zeros(size(demanda , 1), 1);
17    MMC = zeros(size(demanda , 1), 1);
18    previsao.IS = zeros(size(demanda , 1), 1);
19
20    if (rem(periodo ,2) == 1)
21        for t = (floor(periodo /2)+1) : 1:(comprimento_demanda-floor
                (periodo /2))
22            MMC(t) = 1/periodo * sum(demanda(t-floor(periodo
                /2) : t+floor(periodo /2)));
23            previsao.IS(t) = demanda(t) / MMC(t);
```

```

24         end
25     end
26
27     previsao.IS(1:floor(periodo/2)) = previsao.IS(periodo+1:periodo+
        floor(periodo/2));
28     previsao.IS(comprimento_demanda-floor(periodo/2)+1:
        comprimento_demanda) = previsao.IS(comprimento_demanda-floor(
        periodo/2)+1-periodo:comprimento_demanda-periodo);
29     MMCmedio = 1/(comprimento_demanda-2*floor(periodo/2)) * sum(MMC
        ((floor(periodo/2)+1):1:(comprimento_demanda-floor(periodo/2))
        ));
30     previsao.demanda = MMCmedio * previsao.IS;
31
32     previsao.erro = demanda - previsao.demanda;
33     previsao.J = 1/comprimento_demanda * sum(previsao.erro.^2);
34     previsao.MAD = 1/comprimento_demanda * sum(abs(previsao.erro));
35
36     previsao.consumo = Consumo_Acumulado(demanda, previsao.demanda);
37
38 end

```

5.4 Projeto de Simulação

Podemos definir o problema técnico como a escolha dinâmica de políticas que se adequem ao orçamento do período, satisfazendo a equação:

$$E_{mensal} \leq E_{orçamento} \quad (5.1)$$

Onde, $E_{orçamento}$ refere-se ao orçamento acumulado dado como limite de consumo energético para o período e E_{mensal} refere-se à energia acumulada consumida durante o período de análise *mensal* e respeita a seguinte equação:

$$E(mensal) = \sum_{\tau=1}^t [\mu(\tau) + e(\tau)] \quad (5.2)$$

Dado,

$$E = \int_{t_0}^{t_f} p dt \quad (5.3)$$

Dado que a função $e(\tau)$ representa o erro entre a previsão e o valor coletado do consumo médio e a análise do gráfico do erro verificado, expresso na Figura 5.2, na qual os valores observados para o erro tem uma grande sobreposição à curva Normal para a amostra. Pode-se, apesar do tamanho da amostra, assumir a normalidade dos dados referentes ao erro na previsão para a demanda coletada e utilizada para cálculos dos índices de sazonalidade.

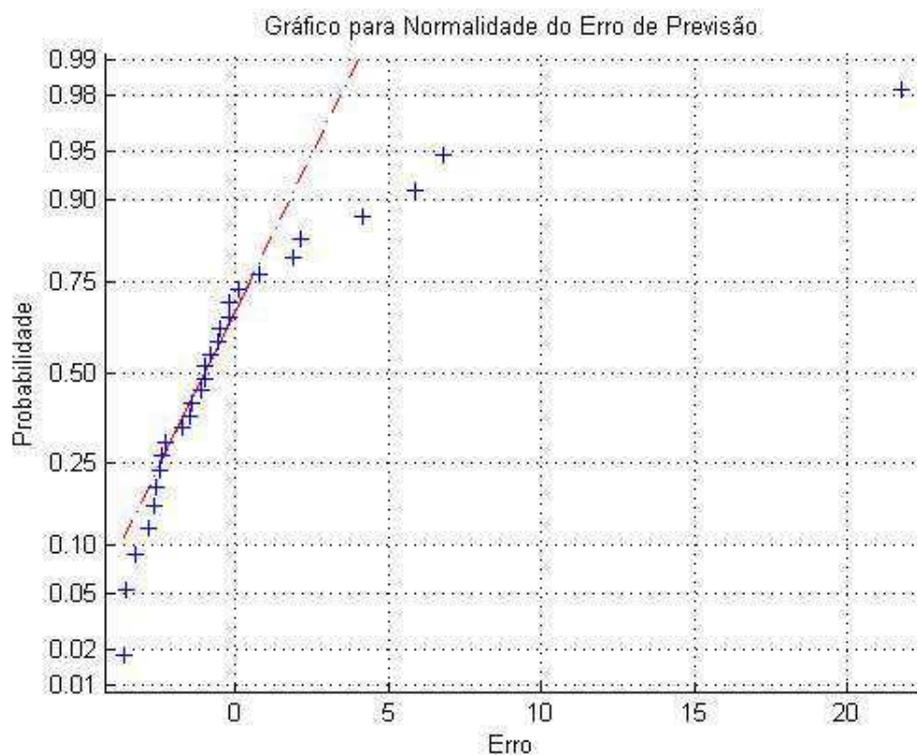


Figura 5.2: Normalidade do Erro entre a previsão e a demanda original.

Sendo assim, pôde-se modularizar esse erro em uma variável aleatória tendo em vista que para uma definição com 95% de confiança com base no valor Z [15], seria necessário uma amostra com tamanho 10,51 para definição da população na qual está inserido o erro, dada a média e a variância da amostra de tamanho 28.

Para o projeto de simulação foram definidos os seguintes perfis (ordenados dada a avaliação de desempenho feita pelo o usuário) que foram utilizados no gerenciamento de energia visando a adequação ao orçamento. O orçamento foi definido como a média do consumo total para as previsões em cada perfil, para o mês subsequente.

1. Equilibrado com limites de CPU entre 5% e 100%;

2. Equilibrado com limites de CPU entre 5% e 75%;
3. Equilibrado com limites de CPU entre 5% e 50%;
4. Alto Desempenho com limites de CPU entre 5% e 100%;
5. Alto Desempenho com limites de CPU entre 5% e 75%;
6. Alto Desempenho com limites de CPU entre 5% e 50%;
7. Alto Desempenho com limites de CPU entre 5% e 25%;
8. Economia de Energia com limites de CPU entre 5% e 100%;
9. Economia de Energia com limites de CPU entre 5% e 75%;

Os perfis: Equilibrado com limites de CPU entre 5% e 25%, Economia de Energia com limites de CPU entre 5% e 50% e Economia de Energia com limites de CPU entre 5% e 25%, não foram considerados na simulação tendo em vista a sua inadequação ao quesito desempenho, avaliado pelo usuário da máquina.

Um dado perfil é escolhido quando o consumo acumulado de sua previsão, calculado a partir do valor médio para o consumo no perfil e os índices de sazonalidade da coleta, é menor ou igual ao orçamento definido. E em caso de mais de uma política que se adeque a esse requisito, será escolhido o perfil que tiver um maior desempenho na avaliação do usuário. Esse algoritmo é exemplificado no pseudocódigo 5.2.

Código Fonte 5.2: Procedimento de aplicação da política - Módulo Tomador de Decisão Baseado no Orçamento (pseudocódigo)

```
1  politicasComMenorConsumo = definePolíticasMaisEficientes ();
2  politicaAtual ;
3
4  ENQUANTO dentroDoPeriodoTotal () {
5
6      atualizaDemanda ();
7
8      SE consumoMaiorQueOrçamento (consumoAtual , politicaAtual) {
9          politicaAtual = politicasComMenorConsumo . next ();
10     }
```

11 }

Dado o pseudocódigo 5.2 e a aleatoriedade da estimação do erro na previsão, na Figura 5.3 pôde-se expor um gráfico com uma possível execução do algoritmo, para exemplificar a troca de políticas no decorrer dos dias de trabalho. Verifica-se que, no perpassar do período temos: as primeiras 28 coletas referem-se aos dias de análise das variáveis do algoritmo e cálculo do *ranking* de políticas para adequação ao orçamento; no decorrer do período as políticas (apresentadas no eixo y e a numeração para casa política apresentada na Seção 4.4) são alteradas tendo em vista seu desempenho e consumo, tendo como finalidade a adequação ao orçamento total do período. Nessa alteração de política é feita a troca dos limites de uso do processador visando manter o maior desempenho possível para adequar-se ao orçamento para o período.

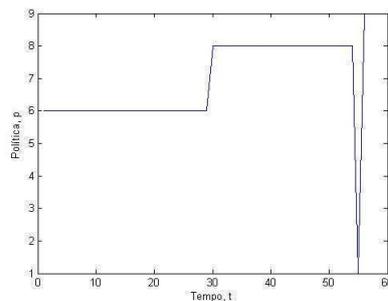


Figura 5.3: Execução do algoritmo de seleção da política adequando-se do orçamento.

5.5 Análise Comparativa dos Dados

Para a execução da simulação da técnica de gerenciamento de energia baseada na adequação a um orçamento foi necessário a definição de um *ranking* entre as políticas definidas na Seção 4.4 dada sua eficiência energética. Inicialmente foi feita uma comparação entre o consumo coletado (Média Original) e a previsão do consumo (Média Estimada) para o mesmo perfil para validar o método de previsão, o que segundo Tubino et al. [25] é usado para mostrar a confiabilidade do método de previsão de séries temporais por meio da sazonalidade simples, Figura 5.4.

A variação expressa ao final do gráfico deve-se ao fato dos dados serem limitados. Dessa

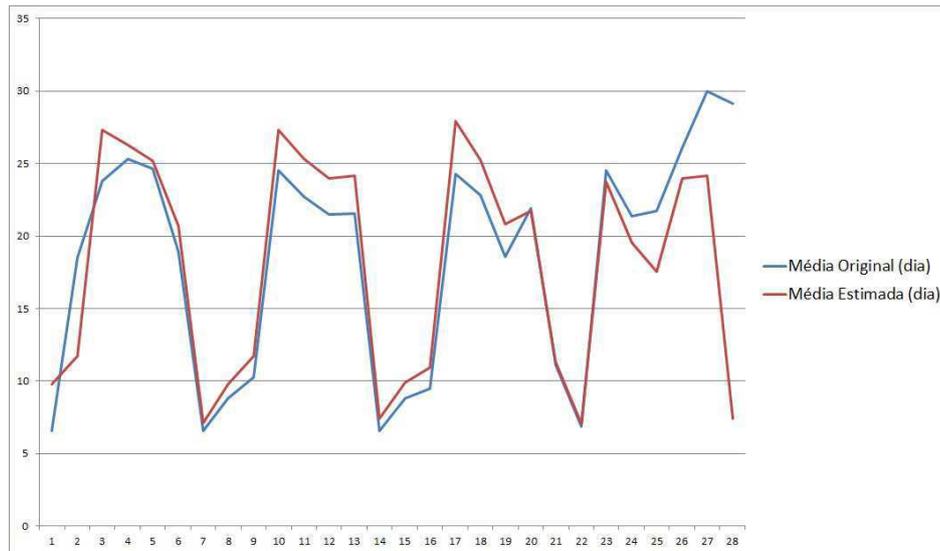


Figura 5.4: Comparação entre Demanda e Previsão.

forma não foi possível gerar um índice de sazonalidade preciso e contínuo, para os instantes finais, tendo em vista a ausência de coletas para gerar uma média centrada no período. Com a proximidade nos demais instantes, esse tipo de previsão apresenta resultados satisfatórios, o que viabiliza o uso desse método, exposto na simulação da solução.

Sendo assim foram comparados os conjuntos de consumos de cada política a fim de escolher a que apresenta melhor eficiência energética, por meio do mecanismo para definição e interpretação de medições de *software*, *template* GQM [4], tem-se como objetivo: analisar a eficiência das políticas quanto ao gerenciamento de energia em *desktops*, com a intenção de comparar e classificar as políticas que melhorem a eficiência energética adequada às restrições de orçamento para rede local do ponto de vista de grandes empresa tais como *call centers* no contexto de rede local/corporativa.

Para classificação das políticas algumas análises foram feitas. Inicialmente foi verificada a normalidade dos dados das coletas dos consumos das políticas por meio do *software* Matlab. Como expresso na Figura 5.5 há uma tendência à normalidade para alguns conjuntos de dados, tendo em vista os dados das amostras expressos em azul e a curva da Normal, expressa em vermelho.

Dada a Figura 5.6, por meio dos gráficos *qqplot* das amostras e da análise da tendência à normalidade na Figura 5.5 sugere-se uma sobreposição dos valores. Sendo assim as amostras podem não apresentar uma diferença estatística significativa.

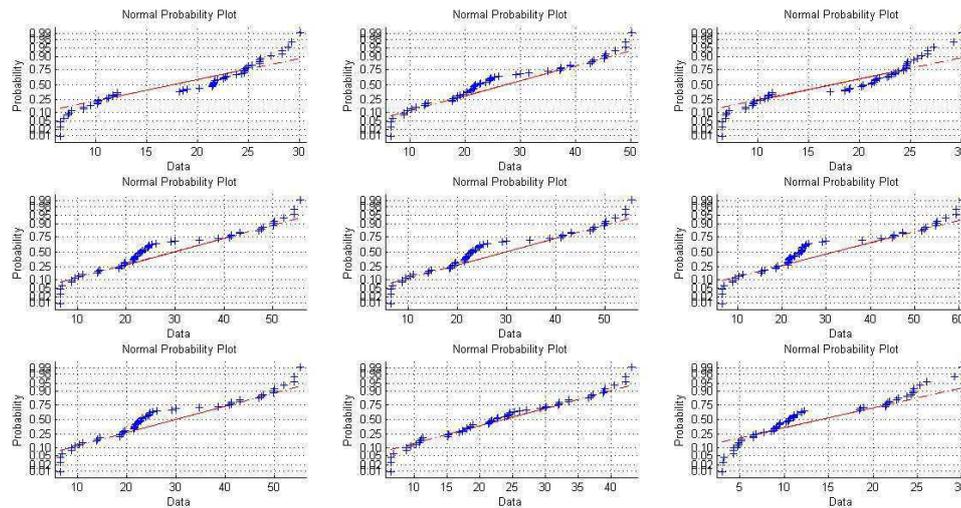


Figura 5.5: Normalidade dos cenários de demanda unida a previsão, ordenadas da esquerda para direita, de cima para baixo.

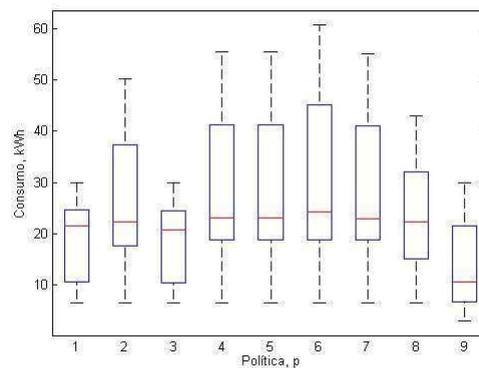


Figura 5.6: *BoxPlots* dos cenários da demanda unida a previsão para a política.

Tendo em vista que o conjunto de dados em análise apresenta 56 médias de consumo (28 médias referentes a coleta e 28 médias referentes a previsão), pelo Teorema Central do Limite, pôde ser assumida a normalidade do conjunto de dados que atrelada à independência das coletas possibilita a utilização do método ANOVA para expor diferenças entre os conjuntos de dados. Tem-se como hipótese nula: os conjuntos de dados são estatisticamente iguais. O resultado da função ANOVA no MatLab para os conjuntos de dados é exposto a seguir:

Dado o *p-value* inferior a 0,5 rejeita-se fortemente a hipótese nula das amostras serem

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	13093.1	8	1636.63	11.03	2.22243e-14
Error	73433.8	495	148.35		
Total	86526.9	503			

Figura 5.7: Saída referente ao p -value do teste de comparação entre os conjuntos de coletas.

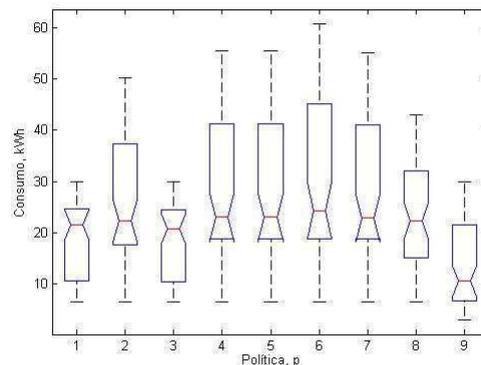


Figura 5.8: Plots de comparação entre os conjuntos de coletas, saída ANOVA.

estatisticamente iguais, sendo assim os conjuntos de dados são estatisticamente diferentes (há diferença estatística entre as políticas, e houve mudança ao implantar um método de gerenciamento). Isso possibilita a ordenação de maneira crescente de consumo. Dado que as amostras são estatisticamente diferentes, não haverá confusão entre duas amostras. Sendo assim, é possível a classificação e ordenação entre as políticas baseando-se na eficiência energética e desempenho. Foi usado o teste *oneway.test()* [15] no *software* R com a finalidade de estatisticamente definir a melhor política dado o consumo total/acumulado para o período. A partir dessa comparação entre as políticas, obteve-se como política com maior eficiência energética a política 9 (Perfil Economia de Energia com limites de CPU entre 5% e 75%) o resultado da função está expresso na Figura 5.9.

5.6 Resultados Obtidos

Tem-se como período total analisado aproximadamente 2 meses, sendo o primeiro mês para análise e definição da restrição de orçamento e o segundo para implementação da técnica.

```

Pairwise comparisons using t tests with pooled SD
data: ranking$V2 and ranking$V1
  1      2      3      4      5      6      7      8
2 1.0000 -      -      -      -      -      -      -
3 1.0000 0.0233 -      -      -      -      -      -
4 1.0000 1.0000 1.0000 -      -      -      -      -
5 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 -      -      -      -
6 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 -      -      -
7 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 -      -
8 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 0.2374 1.0000 -
9 0.3499 2.5e-06 0.6369 3.7e-08 4.1e-08 4.4e-10 5.1e-08 0.0003

P value adjustment method: bonferroni

```

Figura 5.9: Saída comparativa entre políticas par a par com hipótese alternativa de ser menor.

Sendo 28 dias consecutivos com o perfil padrão (Equilibrado com limites de CPU mínimo de 5% e máximo de 100%) e o consumo gerado com a política que na previsão obteve o menor consumo (política 9, perfil Economia de Energia com limites de CPU mínimo de 5% e máximo de 75%) por mais 28 dias consecutivos totalizando 56 dias.

Tendo em vista esse cenário (no qual a partir do 29º dia a política de gerenciamento é alterado imediatamente para que apresentou um menor consumo dado o *ranking*, política 9, visando a adequação ao orçamento), no consumo total para o período percebe-se a possibilidade de um ganho de 25% sobre o orçamento. Dado que o cenário escolhido para o estudo tenha como limiar a média dos consumos totais de todas as políticas válidas. Nessa fase do estudo, foram usadas apenas as políticas que respeitaram as restrições de desempenho para posterior adequação à restrição de orçamento para o consumo total no período.

5.7 Conclusão

Tendo em vista a Figura 5.4 pôde-se validar o método de previsão de séries temporais por sazonalidade simples para previsão da demanda para o problema estudado. Dada essa validação e a análise estatística dos consumos gerados por cada política de gerenciamento de energia implantada, pôde-se verificar a diferença significativa entre as amostras e evolução no quesito eficiência energética possibilitando a classificação de uma política com maior

eficácia como expresso na Figura 5.9.

Por meio da alteração dos limites de frequência do processador visando a adequação ao orçamento, obtiveram-se resultados favoráveis quanto ao gerenciamento de energia respeitando-se a restrição de orçamento. Foram verificados ganhos de até 25% sobre o orçamento no melhor caso (dada a política padrão, alterar o perfil referente ao GDE imediatamente para o que apresentou menor orçamento global para o período). Sendo assim, valida-se o módulo de adequação ao orçamento por meio de previsão da demanda a ser anexado à arquitetura implementada no Capítulo 4, tendo em vista os resultados satisfatórios encontrados no estudo de caso.

Capítulo 6

Considerações Finais

O gerenciamento de energia em redes corporativas vem crescendo significativamente. Tanto é que existem no mercado soluções bastante robustas, nas quais é realizado o gerenciamento até da temperatura e do consumo de dispositivos diversos, nesse caso ar-condicionado.

Neste estudo foi apresentada uma arquitetura baseada em técnicas de gerenciamento dinâmico de energia para a rede corporativa dada a viabilidade de um módulo que baseia-se na adequação do consumo a um orçamento. Apresentando os resultados do desenvolvimento de um concentrador de informações referentes ao gerenciamento de energia, localizado no servidor, e do desenvolvimento de um gerenciador de energia (*governor*) para os clientes, os quais obtiveram resultados de medições de potência significativos quando comparados o seu uso (LEMU/CEMIS) com simplesmente o uso do gerenciamento próprio do sistema operacional, para a carga de trabalho em análise.

6.1 A Arquitetura

Demonstrou-se, por meio de resultados experimentais, que técnicas de gerenciamento de energia permitem a redução do consumo em *desktops* numa rede corporativa. Para o contexto aplicado e as técnicas usadas, políticas com definição estática de *timeout* apresentaram bons resultados apesar de sua simplicidade na implementação como o exposto no Capítulo 4.

Sendo assim, os resultados apresentados nesse estudo viabilizam o uso de algoritmos de gerenciamento dinâmico de energia em uma arquitetura cliente/servidor para obter melhores resultados em um contexto corporativo. Os resultados, expressos no Capítulo 4 no qual

expõe-se a arquitetura de gerenciamento de energia, baseada no estudo de Cadaval et al. [8], demonstram uma redução de mais de 60% na potência média consumida.

Porém os estudos feitos por Devadas et al. [10], também produziram ganhos significativos por meio da mesma técnica de gerenciamento de energia mista aplicada na arquitetura de maneira apenas local (LEMU). Entretanto há uma baixa confiabilidade nos resultados, pois foram produzidos apenas por meio de simulação as quais não puderam ser replicadas.

Por conseguinte, estudou-se a viabilidade de um novo módulo baseado no orçamento de energia defendido por Isci et al. [14], apresentado e analisado no Capítulo 5. Esse módulo apresentou resultados significativos e complementa a funcionalidade da arquitetura do Capítulo 4 com a adequação da questão: "Podemos economizar ainda mais energia?". Dessa forma propicia-se uma análise em nível gerencial corporativo, onde dada uma análise dos recursos e dos custos, definiu-se um limiar/orçamento para os custos, que segundo Zhan et al. apresenta-se como uma metodologia eficiente para os cálculos, mantendo o desempenho das atividades executadas [28].

Um *link*¹ com o pacote de todos os dados, gráficos e *scripts* usados nesse estudo foram disponibilizados para acesso e replicação das análises.

6.2 Ameaças à Validade

Tendo em vista o limite de recursos para o estudo, algumas observações devem ser feitas sobre ameaças à validade, pois quanto ao número de medições, é possível que o número de coletas e repetições sejam poucas para os experimentos descritos nos Capítulos 3 e 4, haja vista que não foram feitas análises mais sofisticadas sobre a quantidade necessária para uma maior significância estatística, como feitas na análise do erro nas previsões por meio do valor Z no Capítulo 5.

Da mesma forma, o número de máquinas ligadas e consideradas como uma rede assim como o tempo que foi usado nas coletas também representam uma fragilidade das análises, pois um número pequeno de máquinas podem agravar o impacto de limitações quando a fonte de energia, pois a eficiência da fonte de cada máquina, que apesar de idênticas, as tensões recebidas podem apresentar variações, acarretando assim, variação nos valores coletados

¹<https://goo.gl/Kom269>

durante o experimento.

Quanto a replicabilidade do estudo, outra fragilidade está no modelo de potência, pois esse modelo usado para cálculo das estimativas de potência consumida pode não estimar tão bem máquinas diferentes das usadas na implementação. É importante mencionar o simulador de carga de trabalho usado, pois há a possibilidade do *workload* utilizado ter alguma simplificação em sua implementação, que poderia variar conforme as versões do *software*, as quais poderiam causar inconformidades quando comparados ao cenário estudado e um ambiente real.

6.3 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, tem-se inicialmente a implementação do módulo apresentado no Capítulo 5, atrelado a arquitetura apresentada no Capítulo 4, de maneira dinâmica e contínua, pois a precisão da estimação requer que os dados sejam constantemente atualizados adequando-se à variabilidade que possa surgir no decorrer da execução das atividades. É importante ressaltar a necessidade de serem feitos testes em cenários reais com um número de usuários maior que os usados nesse estudo. Outro trabalho futuro é a implementação do agrupamento dinâmico dos usuários na arquitetura apresentada no Capítulo 4 visando a adequação de uma política que melhor se adeque a um grupo com características semelhantes.

Bibliografia

- [1] J. Aldrich, R. e Parello. *IP-Enabled Energy Management: A Proven Strategy for Administering Energy As a Service*. SYBEX Inc., Alameda, CA, USA, 2010.
- [2] M. Ardito, L. e Morisio. Green it - available data and guidelines for reducing energy consumption in it systems. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 4(1):24 – 32, 2014.
- [3] J. S. Aronson. Making it a positive force in environmental change. *IT Professional*, 10(1):43–45, Janeiro 2008.
- [4] V. R. Basili. Software modeling and measurement: The goal/question/metric paradigm. Technical report, College Park, MD, USA, 1992.
- [5] A. e Micheli G. Benini, L. e Bogliolo. A survey of design techniques for system-level dynamic power management. *Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, IEEE Transactions on*, 8(3):299–316, Junho 2000.
- [6] J. e Rajappa Mu. e Hoffman A. Bodas, D. e Song. Simple power-aware scheduler to limit power consumption by hpc system within a budget. In *Proceedings of the 2Nd International Workshop on Energy Efficient Supercomputing, E2SC '14*, pages 21–30, Piscataway, NJ, USA, 2014. IEEE Press.
- [7] R. e Davoli Franco e Cucchietti F. Bolla, R. e Bruschi. Energy efficiency in the future internet: A survey of existing approaches and trends in energy-aware fixed network infrastructures. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 13(2):223–244, Fevereiro 2011.

- [8] M. P. e Lozano-Tello A. e Cadaval E. R. Boton-Fernandez, V. e Romero. Intelligent energy management system for the optimization of power consumption. In Juan M. Corchado e Fahndrich Johannes e Mathieu Philippe e Campbell Andrew e Suarez-Figueroa Mari Carmen e Ortega Alfonso e Adam Emmanuel e Navarro Elena e Hermoso Ramon e Moreno Maria N. Perez, Javier Bajo e Rodriguez, editor, *Trends in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems*, volume 221 of *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pages 113–120. Springer International Publishing, 2013.
- [9] A. e Kharitonov D. Ceuppens, L. e Sardella. Power saving strategies and technologies in network equipment opportunities and challenges, risk and rewards. In *Applications and the Internet, 2008. SAINT 2008. International Symposium on*, pages 381 – 384, Julho 2008.
- [10] H. Devadas, V. e Aydin. On the interplay of voltage/frequency scaling and device power management for frame-based real-time embedded applications. *Computers, IEEE Transactions on*, 61(1):31–44, Janeiro 2012.
- [11] San Murugesan e G. R. Gangadharan. *Green IT: An Overview*, pages 432–. Wiley-IEEE Press, 2012.
- [12] J. e Paradells J. Gomez, C. e Oller. Overview and evaluation of bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology. *Sensors*, 12(9):11734, 2012.
- [13] K. e Nordman B. Gunaratne, C. e Christensen. Managing energy consumption costs in desktop pcs and lan switches with proxying, split tcp connections, and scaling of link speed. *Int. J. Netw. Manag.*, 15(5):297–310, Setembro 2005.
- [14] A. e Chen C.-Y. e Bose P. e Martonosi M. Isci, C. e Buyuktosunoglu. An analysis of efficient multi-core global power management policies: Maximizing performance for a given power budget. In *Microarchitecture, 2006. MICRO-39. 39th Annual IEEE/ACM International Symposium on*, pages 347–358, Dezembro 2006.
- [15] N. D. Lewis. *100 Statistical Tests: In R*. Easy R Series. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.

- [16] G. Lu, Y.-H. e Micheli. Comparing system-level power management policies. *IEEE Des. Test*, 18(2):10–19, Março 2001.
- [17] A. F. e McBrewster J. Miller, F. P. e Vandome. *Advanced Configuration and Power Interface: Open Standard, Operating System, Power Management, Cross- Platform, Intel Corporation, Microsoft, Toshiba, Sleep Mode, Hibernate (OS Feature), Synonym*. Alpha Press, 2009.
- [18] S. H. Murugesan. Green it: principles and practices. *IT Professional , IEEE Computer Society*, 10(1):24–33, 2008.
- [19] A. e Arabas P. e Kamola M. e Mincer M. e Kolodziej J. Niewiadomska-Szynkiewicz, E. e Sikora. Dynamic power management in energy-aware computer networks and data intensive computing systems. *Future Generation Computer Systems*, 37(0):284 – 296, 2014. Special Section: Innovative Methods and Algorithms for Advanced Data-Intensive Computing Special Section: Semantics, Intelligent processing and services for big data Special Section: Advances in Data-Intensive Modelling and Simulation Special Section: Hybrid Intelligence for Growing Internet and its Applications.
- [20] X. e Ping W. Niyato, D. e Lu. Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid. *Communications Magazine, IEEE*, 49(4):53–59, Abril 2011.
- [21] D. D. Pantazis, N. A. e Vergados. A survey on power control issues in wireless sensor networks. *Communications Surveys Tutorials, IEEE*, 9(4):86 – 107, Abril 2007.
- [22] C. C. Sanvicente, A. Z. e Santos. *Orçamento na administração de empresas*. Atlas S.A., São Paulo, SP, Brasil, 2000.
- [23] S. Smith. How sub-metering changed the way nissan, smyrna plant does business. In *Future of Instrumentation International Workshop (FIIW), 2011*, pages 20–20, Novembro 2011.
- [24] A. P. e Brodersen R. W. Srivastava, M. B. e Chandrakasan. Predictive system shutdown and other architectural techniques for energy efficient programmable computation. *Very*

- Large Scale Integration (VLSI) Systems, IEEE Transactions on*, 4(1):42–55, Março 1996.
- [25] D. F. Tubino. *Planejamento e Controle da Produção*. Atlas S.A., São Paulo, SP, Brasil, 2009.
- [26] D. G. e Barros Z. C. e Bublitz F. M. e Almeida-H. O. e Perkusich A. Vilar, B. M. J. C. e Gondim. A software framework for user-level power management. In *Consumer Electronics Berlin (ICCE-Berlin), 2014 IEEE Fourth International Conference on*, pages 435–439, Setembro 2014.
- [27] F. M. e Luiz S. O. D. e Silva J. J. e Almeida H. e Perkusich A. Vilar, B. M. J. C. e Silva. Dynamic timeout power policy for network interfaces. In *Consumer Electronics Berlin (ICCE-Berlin), 2014 IEEE Fourth International Conference on*, pages 279–283, Setembro 2014.
- [28] S. Zhan, X. e Reda. Techniques for energy-efficient power budgeting in data centers. In *Proceedings of the 50th Annual Design Automation Conference, DAC '13*, pages 176:1–176:7, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [29] S. Zhan, X. e Reda. Power budgeting techniques for data centers. *Computers, IEEE Transactions on*, 64(8):2267–2278, Agosto 2015.