



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

Bacharelado em Ciência da Computação

Breno Amorim Barbosa

Uso de energia sustentável na computação

Belo Horizonte

2024

Breno Amorim Barbosa

Uso de energia sustentável na computação

Projeto de Pesquisa apresentado na disciplina Trabalho Interdisciplinar III - Pesquisa Aplicada do curso de Ciência da Computação da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Belo Horizonte

2024

RESUMO

A computação vem requerindo cada vez mais energia ao longo do tempo. Dessa forma, é importante que a energia que está sendo consumida seja de uma fonte sustentável para que não se agride o meio ambiente. Assim, quando for se utilizar um recurso em nuvem ou em servidor, optar por utilizar recursos que funcionem a base do máximo de energia renovável possível.

Isso pode ser feito através de um algoritmo de busca nas máquinas quando um serviço for requerido, dentre os possíveis servidores a serem acessados que contém esse serviço e utilizam a maior porcentagem de energia verde. Quando esse servidor for encontrado, a máquina utiliza esse serviço através do servidor encontrado.

Palavras-chave: Sustentável, Renovável, Energia, Computação.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 25 |
| 1.1 | Objetivos | 25 |
| 1.1.1 | <i>Objetivos específicos</i> | 26 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 27 |
| 3 | METODOLOGIA..... | 30 |
| 3.1 | Atividades a serem realizadas | 30 |
| 3.1.1 | <i>Atividade 1: xxxx</i> | 30 |
| 3.1.2 | <i>Atividade 2: xxxx</i> | 30 |
| 3.1.3 | <i>Atividade n: xxxx</i> | 30 |
| 3.2 | Cronograma | 30 |
| 4 | PRIMEIRO CAPÍTULO DE EXEMPLO..... | 31 |
| 4.1 | Primeira seção | 31 |
| 4.1.1 | <i>Primeira subseção</i> | 32 |
| 4.2 | Segunda seção | 32 |
| 5 | SEGUNDO CAPÍTULO DE EXEMPLO..... | 33 |
| 6 | OBSERVAÇÕES IMPORTANTES..... | 35 |
| | REFERÊNCIAS | 36 |

1 INTRODUÇÃO

Contexto - A produção de energia sustentável tem aumentado significativamente nos últimos anos. Essa fonte de energia tem um balanço de carbono sustentável para o progresso da vida na Terra. Em paralelo a isso, a área da computação que se expande cada vez mais necessita consumir uma quantidade maior de energia para seu desenvolvimento e funcionamento. Portanto, fica evidente que para garantir a sustentabilidade de máquinas pessoais, servidores, data centers, dentre outros é importante garantir que a energia que eles estão utilizando venha de fontes renováveis.

Isso pode ser feito através de um algoritmo que identifica se, por exemplo, um serviço tem a opção de escolher entre servidores que estão usufruindo de mais ou menos energia sustentável, ou se uma máquina virtual que deseja migrar e deve escolher entre dois ou mais data centers. Ao identificar tais possibilidades o algoritmo opta pela opção com a melhor pegada de carbono possível. Alguns exemplos desse algoritmo já podem ser encontrados como o "*Knowledge Acquisition over Gray Wolf Optimizer*"(KAGWO), o "*Knowledge Acquisition with a Swarm Intelligence Approach*"(KASIA) ou o Algoritmo Genético Pittsburgh.

Problema - O balanço de carbono atual da indústria tecnológica no mundo está negativo pois a maior parte da energia consumida por ela vem de fontes não renováveis como o carvão e combustíveis fósseis.

Justificativa - Em visão a essa problemática é importante que a energia utilizada por máquinas computacionais de todos os tipos sejam de fontes renováveis para que a evolução e utilização dessas sejam possíveis sem prejudicar o ecossistema do planeta.

1.1 Objetivos

O objetivo deste projeto é criar um método capaz de identificar se alguma aplicação, servidor, data center e afins estão utilizando mais ou menos energia renovável e optar por fazer uso da parte que está utilizando o máximo possível dessa energia.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste projeto são:

1. asdasd
2. asdasd
3. asd

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A crescente demanda por serviços de computação em nuvem e a consequente expansão dos data centers trouxeram à tona preocupações significativas sobre o consumo de energia e seu impacto ambiental. A sustentabilidade energética, definida como o uso eficiente e responsável de energia, especialmente a renovável, é agora uma prioridade em ambientes de computação. A busca por soluções que otimizem o consumo de energia, sem comprometer a performance dos sistemas, tem levado à adoção de técnicas avançadas, como a migração de máquinas virtuais (VMs) e o uso de algoritmos inteligentes para agendamento e alocação de recursos. Diversos estudos têm contribuído para o desenvolvimento dessas abordagens, propondo novas formas de melhorar a eficiência energética nos data centers, essenciais para a computação em nuvem.

Um dos principais desafios enfrentados pelos data centers é a dependência de fontes de energia não renováveis, o que aumenta as emissões de carbono e o impacto ambiental. Para mitigar esse problema, pesquisadores têm explorado a migração de VMs como uma técnica para melhorar a sustentabilidade energética. No artigo de (SEDDIKI et al., 2024), é proposto o KAGWO (Knowledge Acquisition over Gray Wolf Optimizer), um algoritmo que coleta dados sobre a disponibilidade de energia renovável e otimiza a migração de VMs entre data centers distribuídos. O KAGWO é uma adaptação do algoritmo Gray Wolf Optimizer (GWO), que simula o comportamento de caça de lobos para encontrar soluções ótimas em problemas de otimização. Ao incorporar técnicas de aquisição de conhecimento, o KAGWO consegue ajustar dinamicamente a alocação de VMs, priorizando data centers com maior disponibilidade de energia renovável, o que melhora significativamente a eficiência energética do sistema. Os resultados mostraram que o KAGWO alcançou melhorias entre **0,53%** e **5,23%** no uso de energia renovável em comparação com outros algoritmos, como o KASIA (Knowledge Acquisition with Swarm Intelligence Approach) e o Pittsburgh Genetic Algorithm.

O KAGWO se destaca por sua simplicidade em termos de configuração de parâmetros, exigindo menos ajustes em comparação a outros algoritmos baseados em inteligência de enxame ou genética. Isso o torna mais eficiente e fácil de implementar em cenários complexos de data centers. Além disso, o KAGWO equilibra de forma eficiente as fases de exploração e exploração de soluções, permitindo que o algoritmo se adapte às mudanças

no ambiente de energia renovável e evite cair em mínimos locais, um problema comum em algoritmos de otimização. Essa abordagem é particularmente relevante em data centers distribuídos geograficamente, onde a disponibilidade de energia renovável pode variar significativamente entre diferentes locais, tornando a otimização da migração de VMs uma tarefa crucial para garantir a sustentabilidade energética.

Outro estudo relevante, (ALMUTAIRI; ASLAM, 2023), sobre o tema é o do EC-scheduler, que aborda a sustentabilidade energética em data centers a partir de uma perspectiva diferente. O EC-scheduler, apresentado em um artigo anterior, propõe uma combinação de técnicas de inteligência artificial, incluindo o algoritmo Multi-Objective Leader Salp Swarm (MLSS) e uma Rede Neural Artificial Emocional (EANN). Enquanto o MLSS é responsável pelo balanceamento da carga de tráfego entre diferentes servidores, a EANN otimiza a alocação de recursos computacionais de forma eficiente, considerando tanto o consumo de energia quanto o desempenho das tarefas. A principal inovação do EC-scheduler é sua capacidade de antecipar a demanda por recursos e alocá-los de forma proativa, reduzindo o consumo de energia em até **34%** e aumentando o throughput em **50%** em comparação com métodos tradicionais de agendamento.

Diferente do KAGWO, que se adapta às mudanças no ambiente em tempo real por meio da aquisição de conhecimento, o EC-scheduler busca otimizar o uso de energia com base em uma previsão mais precisa das demandas futuras de carga de trabalho e tráfego. Essa abordagem permite que o sistema aloque recursos de maneira eficiente e, ao mesmo tempo, equilibre o tráfego para minimizar congestionamentos e sobrecargas em servidores específicos. A combinação dessas técnicas resulta em uma solução robusta para data centers que operam em grande escala, com um foco particular em ambientes de computação verde, onde o uso de energia renovável é uma prioridade.

Ao comparar essas duas abordagens, é possível observar que ambos os estudos contribuem significativamente para o avanço da eficiência energética em data centers, mas com focos distintos. O KAGWO é mais voltado para a adaptação contínua em ambientes de computação distribuída, aproveitando a inteligência de enxame para ajustar as alocações de VMs de acordo com a disponibilidade de energia renovável. Já o EC-scheduler enfatiza o planejamento proativo e o balanceamento de carga para garantir um uso otimizado de energia e recursos computacionais. Ambos os algoritmos apresentam resultados promissores na redução do consumo de energia e no aumento da sustentabilidade dos data centers, destacando a importância de combinar técnicas de otimização com a integração de fontes de energia renovável.

Em conclusão, o uso de algoritmos avançados como o KAGWO e o EC-scheduler representa um passo importante na direção de uma computação em nuvem mais sustentável. A migração de VMs, aliada à otimização de recursos energéticos, mostra-se uma

solução eficiente para mitigar os impactos ambientais dos data centers, contribuindo para um futuro mais verde e sustentável. As abordagens exploradas nesses estudos demonstram que é possível alinhar o desempenho tecnológico com a responsabilidade ambiental, criando infraestruturas computacionais que atendem tanto às demandas dos usuários quanto às exigências globais de sustentabilidade.

3 METODOLOGIA

Este capítulo Apresentar uma classificação da pesquisa.

3.1 Atividades a serem realizadas

Esta seção apresenta

3.1.1 *Atividade 1: xxxx*

Descrição

3.1.2 *Atividade 2: xxxx*

Descrição

3.1.3 *Atividade n: xxxx*

Descrição

3.2 Cronograma

Esta seção apresenta ... (Tabela 1).

Tabela 1 – Cronograma

| | Meses 1-3 | Meses 4-6 | Meses 7-9 | Meses 10-11 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| Pesquisa asdads | X | X | | |
| Coleta de dados | | X | X | |
| sdfsdf | X | | X | X |
| nova linha | X | | X | X |

4 PRIMEIRO CAPÍTULO DE EXEMPLO

A seguir serão apresentados alguns comandos do LaTeX usados comumente para formatar textos de dissertação baseados na normalização da PUC (2011).

Para as citações a norma estabelece duas formas de apresentação. A primeira delas é empregada quando a citação aparece no final de um parágrafo. Neste caso, o comando `cite` é usado para formatar a citação em caixa alta, como é mostrado no exemplo a seguir. (DUATO; YALAMANCHILI; LIONEL, 2002).

Outra forma de apresentação da citação é a que ocorre no decorrer do texto, essa situação é exemplificada na próxima frase. Conforme Bjerregaard e Mahadevan (2006), o estudo mencionado revela progressos no desempenho dos processadores. Para a formatação da citação em caixa baixa deve ser usado o comando `citeonline`.

Nas citações que aparecem mais de uma referência as mesmas devem ser separadas por vírgulas, como neste exemplo. (KEYES, 2008; ZHAO, 2008; GANGULY et al., 2011). Se houver necessidade de especificar a página ou que foi realizada uma tradução do texto deve ser feito da seguinte maneira. (SASAKI et al., 2009, p. 2, tradução nossa). A citação direta deve ser feita de forma semelhante. “[...] A carga de trabalho de um sistema pode ser definida como o conjunto de todas as informações de entrada.” (MENASCE; ALMEIDA, 2002, p. 160).

O arquivo `dissertacao.bib` mostra exemplos de representação para vários tipos de referências (artigos de conferências, periódicos, relatórios, livros, dentre outros). Cada um desses tipos requer uma forma diferente de representação para que a referência seja formatada conforme as exigências da normalização.

4.1 Primeira seção

Para gerar a lista de siglas automaticamente deve ser usado o pacote *acronym*. Para tanto, toda vez que uma sigla for mencionada no texto deve ser usado o comando `ac{sigla}`. Dessa forma, se for a primeira ocorrência da sigla a mesma será escrita por extenso conforme descrição feita no arquivo `lista-siglas.tex`. Caso contrário, somente a sigla será mostrada. Ex

4.1.1 Primeira subseção

As enumerações devem ser geradas usando o pacote *compactitem*. Cada item deve terminar com um ponto final. Abaixo um exemplo de enumeração é apresentado:

- a) Coletar e analisar.
- b) Configurar e simular.
- c) Definir a metodologia.
- d) Avaliar o desempenho.
- e) Analisar e avaliar características.

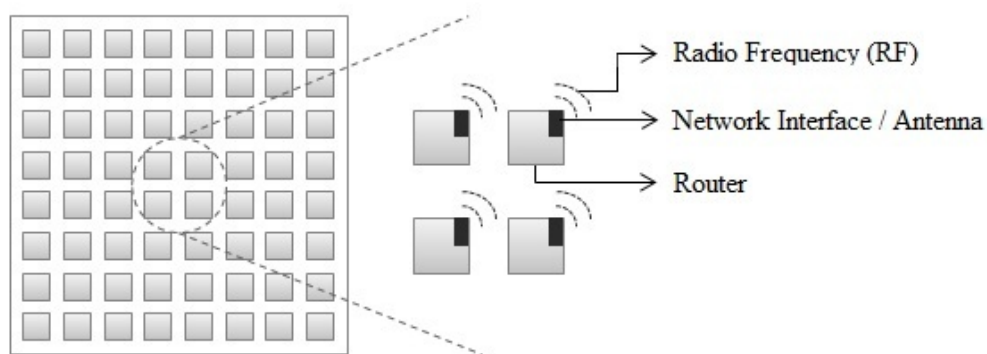
4.2 Segunda seção

Para referenciar um capítulo, seção ou subseção basta definir um label para o mesmo e usar o comando `ref` para referenciá-lo no texto. Exemplo: Como pode ser visto no Capítulo 4 ou na Seção 4.1.

5 SEGUNDO CAPÍTULO DE EXEMPLO

As figuras devem ser apresentadas pelos comandos abaixo. O parâmetro *width* determina o tamanho que a figura será exibida. No parâmetro *caption* o texto que aparece entre colchetes será o exibido no índice de figuras e o texto contido entre chaves será exibido na legenda da figura. Para citar a figura o comando *ref* deve ser usado juntamente com o *label*, como é mostrado nesse exemplo da Figura 1.

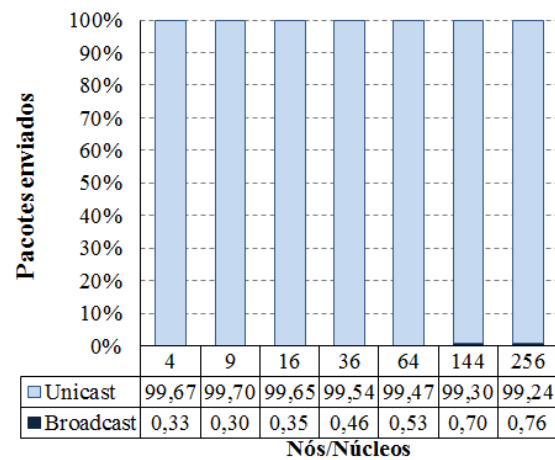
Figura 1 – Principais componentes de WiNoCs



Fonte: (OLIVEIRA et al., 2011)

Os comandos abaixo são usados para apresentação de gráficos. A diferença está apenas na definição do tipo “grafico” que permite a adição dos itens no índice de gráficos de forma automática. Os parâmetros são semelhantes aos usados para representação de figuras. O parâmetro *width* determina o tamanho do gráfico. O texto entre colchetes no *caption* será o exibido no índice de gráficos e o texto contido entre chaves será exibido na legenda.

Gráfico 1 – Percentual de pacotes enviados



Fonte: Dados da pesquisa

Um exemplo de criação de tabela é mostrado a seguir. As colunas são separadas por elementos & e as linhas por duas barras invertidas. Os comandos *hline* e *|* definem a criação de linhas e colunas para separar os conteúdos, respectivamente. A tabela pode ser referenciada usando o comando *ref* juntamente com o label, como na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros definidos por classe

| <i>Benchmark</i> | Parâmetro | Classe S | Classe W | Classe A | Classe B | Classe C | Classe D |
|------------------|-------------|----------|--------------|---------------|---------------|----------|-----------------|
| BT | <i>Grid</i> | 12^3 | 24^3 | 64^3 | 102^3 | 162^3 | 408^3 |
| CG | Linhas | 1400 | 7000 | 14000 | 75000 | 150000 | 1500000 |
| EP | Pares | 2^{24} | 2^{25} | 2^{28} | 2^{30} | 2^{32} | 2^{36} |
| FT | <i>Grid</i> | 64^3 | $128^2 * 32$ | $256^2 * 128$ | $512 * 256^2$ | 512^3 | $2048 * 1024^2$ |
| IS | Chaves | 2^{16} | 2^{20} | 2^{23} | 2^{25} | 2^{27} | 2^{31} |
| LU | <i>Grid</i> | 12^3 | 33^3 | 64^3 | 102^3 | 162^3 | 408^3 |
| MG | <i>Grid</i> | 32^3 | 128^3 | 256^3 | 256^3 | 512^3 | 1024^3 |
| SP | <i>Grid</i> | 12^3 | 36^3 | 64^3 | 102^3 | 162^3 | 408^3 |

Fonte: Adaptado de (NPB, 2011)

6 OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

Este documento foi compilado em ambiente linux (Ubuntu 10.04) usando o programa Kile - an Integrated LaTeX Environment - Version 2.0.85. Para correta formatação os seguintes arquivos do pacote *abntex* devem ser alterados.

a) Arquivo abnt.cls

No Ubuntu o arquivo fica armazenado em */usr/share/texmf/tex/latex/abntex*. Comentar a linha 967: Linha comentada para reduzir o espaçamento entre o topo da página e o título. Alterar a linha 1143: Parâmetro alterado de 30pt para -30pt para reduzir o espaçamento entre o top da página e o título do apêndice. Alterar a linha 985: Parâmetro alterado de 0pt para -30pt para reduzir o espaçamento entre o top da página e o título. Alterar a linha 991: Parâmetro alterado de 45pt para 30pt para reduzir o espaçamento entre o texto e o título.

b) Arquivo acronym.sty

No Ubuntu o arquivo fica armazenado em */usr/share/texmf-texlive/tex/latex/acronym*. Alterar a linha 225: Inserir o separador – entre acrônimo/descrição e remover o negrito com o *normalfont*.

REFERÊNCIAS

ALMUTAIRI, L.; ASLAM, S. M. Using the NS-2 A Novel energy and communication aware scheduling on green cloud computing (NoC). In: SCIENCE DIRECT, 2023, Saudi Arabia. **Computers, Materials and Continua**. Saudi Arabia, 2023.

BJERREGAARD, T.; MAHADEVAN, S. A survey of research and practices of network-on-chip. **Computing Surveys**, ACM, New York, USA, v. 38, n. 1, p. 1–51, Jun. 2006. ISSN 0360-0300.

DUATO, J.; YALAMANCHILI, S.; LIONEL, N. **Interconnection networks: an engineering approach**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2002. 515 p. ISBN 1558608524.

GANGULY, A. et al. Scalable hybrid wireless network-on-chip architectures for multi-core systems. **Journal Transactions on Computers**, IEEE Computer Society, Los Alamitos, USA, v. 60, n. 10, p. 1485–1502, 2011. ISSN 0018-9340.

KEYES, R. W. Moore’s law today. **Circuits and Systems Magazine**, IEEE Computer Society, Los Alamitos, USA, v. 8, n. 2, p. 53–54, 2008.

MENASCE, D. A.; ALMEIDA, V. A. F. **Planejamento de capacidade para serviços na web: métricas, modelos e métodos**. Rio de Janeiro: Campus, 2002. 472 p. ISBN 8535211020.

NPB. **NAS Parallel Benchmarks**. Disponível em <http://www.nas.nasa.gov/publications/npb.html>. Acesso em jun. 2011.

OLIVEIRA, P. A. C. et al. Performance evaluation of winocs for parallel workloads based on collective communications. In: IADIS APPLIED COMPUTING, 8., 2011, Rio de Janeiro, Brasil. **Proceedings...** Rio de Janeiro: IADIS Applied Computing, 2011. p. 307–314.

SASAKI, N. et al. A single-chip ultra-wideband receiver with silicon integrated antennas for inter-chip wireless interconnection. **Journal of Solid-State Circuits**, IEEE Computer Society, Los Alamitos, USA, v. 44, n. 2, p. 382–393, Feb. 2009. ISSN 0018-9200.

SEDDIKI, D. et al. Using the NS-2 Enhanced virtual machine migration for energy sustainability optimization in cloud computing through knowledge acquisition (NoC). In: SCIENCE DIRECT, 119., 2024. **Computers and Electrical Engineering**. Jaén, Spain, Bydgoszcz, Poland, 2024.

ZHAO, D. Ultraperformance wireless interconnect nanonetworks for heterogeneous gigascale multi-processor SoCs. In: 2TH WORKSHOP ON CHIP MULTIPROCESSOR, MEMORY SYSTEMS AND INTERCONNECTS, 3., 2008, Beijing, China. **Proceedings...** Beijing: CMP-MSI, 2008. p. 1–3.