

Estudos sobre Estratégias de Minimização de Emissão de CO₂ em *Data Centers* por meio de Simuladores

Gabriella Saraiva¹, Sarita Mazzini Bruschi², Daniel Cordeiro¹

¹Escola de Artes, Ciências e Humanidades — Universidade de São Paulo (EACH) — São Paulo, SP — Brasil

²Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação — Universidade de São Paulo (ICMC) — São Carlos, SP — Brasil

`gabriella.saraiva@usp.br`, `sarita@icmc.usp.br`, `daniel.cordeiro@usp.br`

Abstract. *Platforms for parallel and distributed computing, such as data centers, have increased their processing capacity in pursuit of greater computational power. However, this performance gain is accompanied by a significant increase in energy consumption. In this scenario, research on energy efficiency in high-performance environments has emerged as a way to identify the causes and propose solutions for excessive energy consumption. In this work, we are investigating how simulators can contribute to the development of scheduling algorithms focused on reducing non-renewable energy consumption, thus aiming to significantly reduce CO₂ emissions.*

Resumo. *Plataformas de computação paralela e distribuída, como os data centers, aumentaram sua capacidade de processamento em busca de maior poder computacional. Contudo, esse ganho de desempenho é acompanhado por um significativo aumento no consumo de energia. Neste cenário, pesquisas sobre eficiência energética em ambientes de alto desempenho surgiram como uma forma de encontrar as causas e propor soluções para o consumo excessivo de energia. Neste trabalho, estamos investigando como os simuladores podem colaborar no desenvolvimento de algoritmos de escalonamento focados na redução do consumo de energia não renovável, visando assim reduzir de forma significativa as emissões de CO₂.*

1. Introdução

Nos últimos anos, os *data centers* se destacaram como consumidores significativos de energia, representando aproximadamente 1% [International Energy Agency (IEA) 2022] de toda a energia gerada globalmente. Esse aumento no consumo está intrinsecamente ligado ao crescimento exponencial do tráfego de internet, juntamente com a expansão da capacidade de armazenamento e carga de trabalho desses centros ao longo do tempo. A evolução da tecnologia e a digitalização abrangente em praticamente todos os aspectos da vida moderna alimentaram essa crescente demanda por infraestrutura de TI, gerando um ciclo contínuo de necessidade por mais recursos computacionais. No entanto, mesmo com esse aumento significativo na demanda, a indústria tem se esforçado para melhorar a eficiência energética dos *data centers*. Entre 2010 e 2018, por exemplo, houve um aumento de apenas 6% no consumo de energia, apesar do aumento substancial na capacidade e na carga de trabalho. Isso foi resultado de uma série de iniciativas, incluindo a adoção de tecnologias mais eficientes, a implementação de práticas

de resfriamento mais eficazes e a otimização dos algoritmos de gerenciamento de carga [Masanet et al. 2020, Vasconcelos et al. 2023].

Uma estratégia promissora para reduzir o impacto da emissão de carbono nos *data centers* é o desenvolvimento de algoritmos de escalonamento eficientes, projetados para minimizar o consumo de energia não renovável. Simuladores são frequentemente usados para desenvolver e otimizar esses algoritmos oferecendo uma plataforma controlada para modelar o comportamento dos sistemas. Isso permite testar diferentes cenários e configurações, incluindo o impacto de diferentes algoritmos de escalonamento, facilitando melhorias para otimizar o funcionamento das instalações.

Diante desse cenário, o presente estudo visa explorar maneiras de, por meio dos simuladores, apoiar os desenvolvedores na criação de algoritmos de escalonamento direcionados para minimizar o consumo de energia, especialmente proveniente de fontes não renováveis, com o objetivo de reduzir significativamente as emissões de CO₂.

2. Conceitos Fundamentais

2.1. Algoritmos de Escalonamento

Um dos principais componentes no gerenciamento eficiente de recursos em um *data centers* são os algoritmos de escalonamento. Esses algoritmos desempenham um papel crucial na distribuição e execução de tarefas nos servidores disponíveis, garantindo a utilização otimizada dos recursos computacionais.

Na literatura, há uma variedade de algoritmos de escalonamento adaptáveis a diferentes sistemas e problemas. Alguns deles se destacam pela facilidade de implementação, adaptabilidade e desempenho, como o FIFO (First In First Out), LIFO (Last In First Out), SJF (Shortest Job First), entre outros. Além disso, alguns algoritmos de escalonamento podem ser projetados para otimizar objetivos específicos, como maximizar a utilização dos recursos ou reduzir o consumo de energia. Esses algoritmos oferecem diferentes abordagens para o escalonamento de tarefas em sistemas de computação, cada um com suas vantagens e desvantagens dependendo do contexto de aplicação e dos requisitos específicos do sistema.

2.2. Simuladores

Os simuladores são softwares desenvolvidos para reproduzir o funcionamento de sistemas reais ou conceituais em um ambiente virtual. Eles desempenham um papel fundamental na compreensão e análise do comportamento de sistemas distribuídos, como os *data centers*, possibilitando aos usuários modelar, simular e analisar uma variedade de cenários, enquanto fornecem dados detalhados sobre as simulações realizadas e auxiliam na tomada de decisões e no aprimoramento da eficiência dos sistemas.

SimGrid¹ e CloudSim² são simuladores utilizados em sistemas distribuídos. O SimGrid modela sistemas distribuídos em larga escala, como clusters e data centers. Já o CloudSim simula infraestruturas de computação em nuvem, permitindo avaliar políticas de alocação de recursos em ambientes virtuais de data centers. Neste trabalho, daremos um foco maior para o simulador Batsim. As razões para escolher esta ferramenta incluem

¹Documentação disponível em: <https://simgrid.org/>.

²Documentação disponível em: <http://cloudbus.org/cloudsim/>.

o fato de ser open source, possuir uma documentação detalhada com descrições sobre os módulos da ferramenta e seu uso, permite implementar os algoritmos em qualquer linguagem de programação, e estar disponível para as plataformas Linux, Windows e MacOS.

2.2.1. Batsim

O Batsim é uma ferramenta *open source* de simulação de Sistemas de Gerenciamento de Recursos (RJMS), especialmente concebida para ambientes de computação distribuída e de alto desempenho. Ele possibilita a simulação do comportamento de infraestruturas computacionais, onde cargas de trabalho são executadas de acordo com as regras definidas por algoritmos de escalonamento.

Desenvolvido em C++, o Batsim aproveita a base fornecida pelo SimGrid para simular o gerenciamento de diferentes tarefas em um sistema de computadores. No entanto, o Batsim adiciona suas próprias regras e funcionalidades para melhor se adequar às necessidades específicas de simulação de gerenciamento de tarefas em ambientes distribuídos. A simulação envolve dois componentes: o Batsim, responsável por orquestrar a simulação e gerenciar os recursos computacionais, e um componente de tomada de decisão que toma decisões, interagindo por meio de um protocolo baseado em eventos (Figura 1) [Poquet 2017].

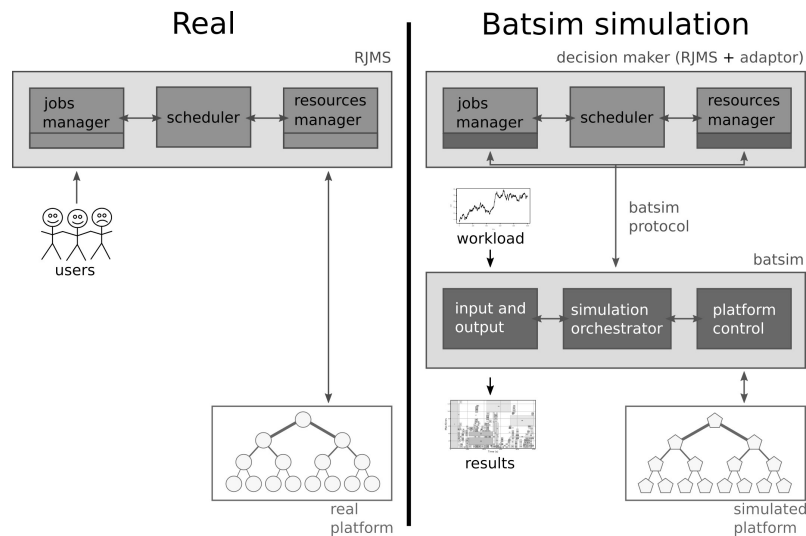


Figura 1. Visão Geral da Simulação do Batsim. Retirado de [Dutot et al. 2016]

Como saída, o Batsim é capaz de fornecer uma variedade de informações sobre a simulação realizada. Isso inclui uma visão geral do agendamento das tarefas, detalhes específicos sobre cada trabalho simulado, como tempo de execução e consumo de energia. O Batsim aborda a questão do consumo de energia integrando um modelo que considera os estados de energia dos computadores na plataforma simulada, classificando-os em computação, suspensão e transição. Isso permite uma análise mais precisa do consumo de energia e dos impactos das políticas de gerenciamento de tarefas e escalonamento no consumo energético dos sistemas [Dutot et al. 2016].

3. Solução Proposta

O crescente consumo de energia em ambientes de grande escala, como *data centers*, requer mais do que apenas desenvolver algoritmos de escalonamento para melhorias de desempenho. Posto isso, este trabalho busca investigar estratégias para auxiliar os desenvolvedores na criação de algoritmos de escalonamento de tarefas, com foco na redução do consumo de energia não renovável em *data centers*, utilizando a simulação como ferramenta.

Embora os simuladores sejam valiosos para compreender o funcionamento das infraestruturas computacionais, eles não oferecem diretamente informações sobre como reduzir o consumo de energia não renovável. São ferramentas neutras, que dependem dos usuários para explorar cenários relacionados à eficiência energética. Nesse contexto, os simuladores de código aberto (*open source*) se destacam como fontes valiosas para estudar e experimentar estratégias sustentáveis de forma mais direta, promovendo inovação e colaboração na comunidade de código aberto.

O Batsim, um simulador de código aberto, desempenha um papel crucial neste estudo, dado os detalhes importantes, principalmente sobre consumo energético, que disponibiliza de suas simulações. Quando a energia é ativada durante uma simulação do Batsim, são gerados arquivos de saída específicos relacionados à energia. Esses arquivos incluem dados detalhados sobre o consumo de energia ao longo do tempo, as mudanças nos estados de energia dos *hosts* e o estado agregado da máquina, indicando a distribuição dos *hosts* em diferentes estados de energia em momentos específicos [Dutot et al. 2016].

Utilizando o Batsim e os dados que ele oferece, será possível implementar estratégias para apoiar os projetistas no desenvolvimento de algoritmos de escalonamento de tarefas energeticamente eficientes, de forma que sejam capazes de avaliar as emissões de carbono previstas para suas implementações e a partir disso adotar práticas mais sustentáveis na infraestrutura de *data centers*.

Este trabalho é parte do projeto “Tendências em Computação de Alto Desempenho, do Gerenciamento de Recursos a Novas Arquiteturas de Computadores”, processo nº 2019/26702-8, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Referências

- Dutot, P.-F., Mercier, M., Poquet, M., and Richard, O. (2016). Batsim: a Realistic Language-Independent Resources and Jobs Management Systems Simulator. In *20th Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*.
- International Energy Agency (IEA) (2022). Data centres and data transmission networks. Technical report, IEA, Paris.
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., and Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481):984–986.
- Poquet, M. (2017). *Simulation approach for resource management*. PhD thesis, Université Grenoble Alpes.
- Vasconcelos, M. F. S., Cordeiro, D., Costa, G. d., Dufossé, F., Nicod, J.-M., et al. (2023). *Optimal Sizing of a Globally Distributed Low Carbon Cloud Federation*. PhD thesis, IEEE/ACM 23rd International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing.