

# Análise da consolidação de máquinas virtuais nos equipamentos de rede

Daniel Scheidemantel Camargo\*

\*Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCA)  
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) – Joinville, SC – Brazil  
e-mail: daniel@colmeia.udesc.br

**Resumo**— Uma abordagem para a redução do consumo de energia elétrica em data centers (DCs) é a consolidação de máquinas virtuais (VMs), que realiza a migração para alocar o maior número de VMs na menor quantidade de servidores, possibilitando desativar os servidores subutilizados. Todavia, em abordagens utilizadas por simuladores de computação em nuvem como o CloudSim, desconsideram o impacto que a migração gera nos demais equipamentos presentes em um DC, como rede e armazenamento. O presente trabalho visa a implementação de uma equação que estima o consumo de energia por porta de um switch, considerando o número de migrações realizadas por determinados algoritmos de seleção e migração de VMs, em conjunto com o tempo em que cada migração ocorre. Os resultados obtidos em experimentos mostram que, mesmo indicando um consumo relativamente baixo em relação ao consumo total de uma infraestrutura de DC, podem chegar a 57Wh ao dia de diferença entre algoritmos de consolidação de máquinas virtuais (VMs).

**Keywords**—Quality of Service Networking, Server Consolidation, Cloud Computing, Energy-Aware.

## I. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de dados produzidos pela humanidade traz constantes desafios para gestores de *Data Centers* (DCs) e Provedores de Serviços de Nuvem, do inglês *Cloud Service Providers* (CSPs) [1]. Isso ocorre principalmente devido ao alto consumo de energia elétrica em sua infraestrutura de DC. Um cenário ideal consiste em fornecer a maior qualidade de serviços (QoS) aos seus usuários, ao mesmo tempo em que a sua infraestrutura consome uma menor quantidade de energia. Contudo, mesmo alcançando a eficiência energética através de equipamentos eficientes [2] e de boas práticas para os sistemas de suporte [3], pesquisas indicam que a alocação eficiente dos recursos computacionais podem reduzir drasticamente o consumo de energia oriunda de servidores [4], [5].

O presente trabalho evidencia os desafios relacionados ao escalonamento de máquinas virtuais, do inglês *Virtual Machines* (VMs) através da abordagem de consolidação. Tipicamente, a consolidação de VMs é uma abordagem que consiste em alocar o máximo possível de VMs no menor número possível de servidores físicos (PMs). A consolidação é normalmente realizada com a migração de VMs, desativando uma instância e reativando-a em outro servidor, ou em alguns casos ainda em execução (*live migration*), com o objetivo de não desativar totalmente uma determinada instância. Contudo, esta abordagem compromete a *Quality of Service* (QoS) pois em um determinado momento será necessário a troca de contexto, podendo causar instabilidade de serviços para o usuário.

Essa ocorrência viola os termos do *Service Level Agreement* (SLA) estabelecidos entre o usuário e o CSP e compromete duas propriedades inerentes ao paradigma de computação em nuvem: a elasticidade de recursos e a disponibilidade de serviços.

Na literatura, são encontradas diversas abordagens que tentam resolver este problema de modo eficiente [6]–[14]. Tais abordagens são habitualmente aplicadas em ambientes de simulação de computação em nuvem, que permitem que um determinado algoritmo de consolidação possa ser testado, analisado e comparado com os demais de modo consistente, sem que haja a necessidade de alocar uma infraestrutura física real. Entre os simuladores mais utilizados, destaca-se o CloudSim [15] desenvolvido no CLOUDS Lab da Universidade de Melbourne<sup>1</sup>, e distribuído sob licença *Open Source* Apache.

No contexto do impacto energético, o CloudSim possibilita que seja analisado o consumo de energia dos equipamentos computacionais de acordo com os algoritmos de escalonamento e os tipos de fluxos de trabalho (*workflows*). Em relação aos (*workflows*), podem ser de dois modos: um *workflow* aleatório gerado pelo simulador, ou um *workflow* real, *e.g.*, os baseados no uso do PlanetLab (algumas fontes são disponibilizadas juntamente com o simulador). O *workflow* real é o mais usado no meio científico, pois proporciona um *testbed* baseado em um comportamento real.

Nativamente, o simulador CloudSim não permite que seja analisado o consumo de energia de nenhum equipamento além dos servidores. É relevantes verificar o impacto no consumo de energia nos equipamentos de rede enquanto ocorre o processo de consolidação de VMs. Por este motivo, o trabalho de [16] estima um modelo de consumo de energia para Switches no padrão Efficient Ethernet Switches (EEE).

Objetivando satisfazer à ambos os contrapontos deste *trade-off*, o presente trabalho tem por objetivo mostrar o desempenho dos algoritmos de escalonamento (seleção de VM e alocação de VM) em relação solução próxima da ideal baseada em heurística, satisfazendo ambos os critérios supracitados. É utilizada o ambiente de simulação CloudSim, que possui uma implementação transparente e altamente customizável, possibilitando facilitar o desenvolvimento da proposta, bem como comparar com demais algoritmos de escalonamento de VMs já existentes.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção II são mostrados brevemente os trabalhos correlatos, a

<sup>1</sup>Disponível em: <http://www.cloudbus.org/cloudsim>.

Seção III é indicada a abordagem utilizada e o desenvolvimento do plano de testes, que por sua vez é aplicado e os seus resultados são discutidos na Seção IV. Por fim, na Seção V são dadas as considerações finais e indicados os trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS CORRELATOS

Na literatura, são encontradas diversas abordagens que tentam resolver o *trade-off* da consolidação de VMs visando diferentes abordagens [6]–[14]. Especificamente em relação à consideração do impacto energético nos equipamentos de rede, os trabalhos correlatos [11], [17]–[19] conseguem obter uma redução de consumo de energia de até 47% quando consideram a rede. Todavia, estes trabalhos utilizam de versões baseadas em NS2, OMNeT, ou CloudSim modificadas (como DartCSim+ ou pyCloudSim), enquanto o interesse do presente trabalho é utilizar o simulador CloudSim na versão originalmente disponibilizada pelos desenvolvedores do CLOUDSlab. Essa precaução é importante para possibilitar uma comparação fiel entre os resultados disponibilizado em outros trabalhos desenvolvidos no CloudSim, como [10], [15].

## III. ABORDAGEM & PLANO DE TESTES

O plano de testes foi desenvolvido no CloudSim, na versão 3.03, executado na versão do Java 8.111 e na IDE NetBeans 8.2. O computador físico em que foi realizada a simulação é um notebook com processador Intel Core i5-2430M CPU (2.40GHz) com 8GB de memória RAM.

Para a simulação, foi utilizado o workflow do PlanetLab 20110306 que contém o histórico de 898 VMs. Foram especificados 800 hosts com modelo energético do HP ProLiant G4, sendo executado com tempo total de simulação de 86400 segundos (24 horas) em steps de 300 segundos (5 minutos). Estas informações estão organizadas conforme a Tabela I

Tabela I. CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO

Características	Valor
Número de hosts	800
Modelo Energético	HP ProLiant G4
Número de VMs	898
Workload	PlanetLab 20110306
Tempo total de simulação	86400 segundos
TimeSteps	300 segundos

Existem nativamente no CloudSim diversos algoritmos que estabelecem as políticas de alocação e de seleção de VMs. As políticas de seleção de VMs, estão orientadas a encontrar as máquinas virtuais que estão mais suscetíveis a serem migradas conforme a necessidade apontada, sendo que o CloudSim disponibiliza ao total seis algoritmos. As políticas de alocação de VMs são voltadas à encontrar o servidor físico adequado conforme as regras que estabelece, sendo que o CloudSim disponibiliza ao total quatro algoritmos.

Quanto as políticas de alocação de VMs, não serão explicitadas no presente trabalho o seu funcionamento. Todavia, todas são baseadas em modelos matemáticos conhecidos, que são utilizados para problemas de escalonamento e balanceamento de carga, tais como:

- *Static Threshold* (THR);
- *Modified Standard-Deviation Median* (MSMD);
- *Modified Standard-Deviation Mean* (MSM);
- *Local Regression Robus* (LRR);
- *Migration Median Absolute Deviation* (MAD); e
- *Inter-Quartile Range* (IQR).

Também não serão explicitadas no presente trabalho o funcionamento dos algoritmos das políticas de seleção de VMs. Mas ressalta-se que todas são baseadas nas características de uso, que são utilizados de forma a minimizar o impacto no momento migração, conforme as necessidades fixadas pelo algoritmo proposto, sendo eles:

- *Random Selection* (RS);
- *Minimum Utilization With Migration Control* (MUMC);
- *Minimum Utilization* (MU); e
- *Maximum Correlation SLA* (MCSLA).

Para a execução de cada um dos testes, deve ser selecionado ao mesmo tempo uma política de seleção de VM e uma política de alocação de VM. Portanto, foi feito uma combinação entre cada par de políticas, de modo a produzir um par entre cada uma destas. Essa abordagem resultou em 6x4, resultando em um total de 24 testes. Ressalta-se que, por se tratar de uma simulação baseada em *testbed* com *workflow* de dados reais, não foi necessário aplicar uma média entre diversos testes, pois todos os valores seriam os mesmos.

Dentre os diversos resultados disponibilizados pelo simulador utilizado, são considerados como os mais importantes os que fornecem informações sobre o consumo de energia dos hosts, o número de migrações de VMs e o tempo médio de migração em cada teste. O valor do tempo médio de migração é o cerne para estimar o consumo do equipamento de rede. Baseado no trabalho que estima o modelo de consumo de energia para switches no padrão Efficient Ethernet Switches (EEE) [16], foi estimado que o valor médio do consumo por porta varia de 5 a 15,4 watts. O mesmo valor é citado como uma média de switches da Cisco [20], conforme informações do fabricante.

A Equação 1 foi utilizada para estimar o impacto energético em um switch. Embora seja uma abordagem inocente (“naïve”) frente ao impacto real do consumo de energia em um equipamento, possibilita que seja aplicada a qualquer equipamento e em qualquer tipo de simulação que forneça as variáveis necessárias.

$$ConsTotal_{porta} = \frac{Qtd_{migra}}{24} * \frac{tempo_{migra}}{3600} * Consumo_{porta} \quad (1)$$

As variáveis que compõem a Equação 1 são três: (i) a quantidade de migrações realizadas no período de cada teste de 24 horas, normalizada para o período de uma hora; (ii) o tempo em que cada migração demorou para finalizar (dado em segundo) e normalizada para o período de uma hora; e (iii) o

consumo energético de cada porta dado em Watts, sendo que nos testes foi considerado o valor de 10Wh. Como resultado normalizado para horas e Watts, o valor final de consumo para a unidade é conforme o padrão de medida – Watt-hora (Wh). Com base nestas informações, são obtidos os resultados de consumo total de um switch ao desempenhar a consolidação de VMs usando uma determinada política de alocação e seleção. Os dados coletados nestes testes são discutidos na Seção IV.

#### IV. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos estão organizados pelos tipos de variáveis coletadas no conjunto de testes. É mostrada a tabela com os valores médios obtidos e um gráfico de barras para visualizar o comportamento dos dados. São tratados o número de migrações de VMs, o consumo de energia dos hosts e o consumo estimado de um switch que tenha um consumo médio de energia de 10Wh por porta em uso. É mostrado para fins de avaliação do SLA, um percentual de violações do SLA que cada par de políticas ferem.

##### A. Número de migrações de VMs

Em relação ao número de migrações, os resultados estão condensados na Tabela II, onde as linhas são as políticas de alocação e as colunas são as políticas de seleção de VMs.

Tabela II. VALORES DAS MIGRAÇÕES DE VMs.

	RS	MUMC	MU	MCSLA
THR	13119	29456	29456	15174
MSMD	4748	5120	5120	4878
MSM	4862	5381	5381	4800
LRR	8823	13285	13285	9488
MAD	14540	29966	29966	15962
IQR	14343	29338	29338	16630

Observa-se que ao relacionar estes dados em um gráfico, conforme a Figura 1, as políticas de alocação que mostram o menor número de migrações são o MSD e MSM, indiferente da política de seleção.

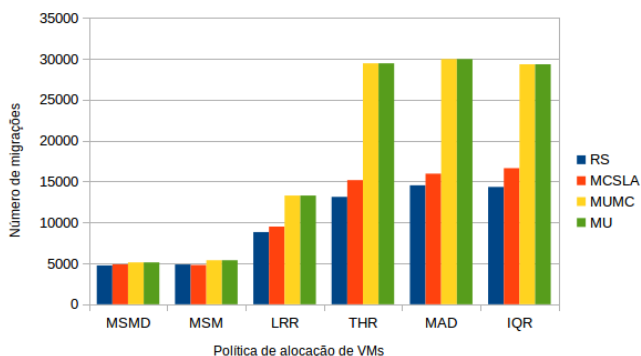


Figura 1. Gráfico do número de migrações de VMs.

##### B. Consumo de energia total

Em relação ao consumo de energia total dos hosts, os resultados condensados na Tabela II, onde as linhas são as

políticas de alocação e as colunas são as políticas de seleção de VMs. Os valores estão na notação de kWh, *i.e.* multiplica-se por 1000 Wh.

Tabela III. CONSUMO DE ENERGIA TOTAL DOS SERVIDORES, EM KWH.

	RS	MUMC	MU	MCSLA
THR	80,457	79,166	79,166	80,120
MSMD	100,375	101,683	101,683	100,320
MSM	100,604	102,230	102,230	99,847
LRR	90,805	91,052	91,052	90,799
MAD	85,323	84,597	84,597	85,127
IQR	88,742	88,256	88,256	88,554

Observa-se que ao relacionar estes dados em um gráfico, conforme a Figura 2, as políticas de alocação de VMs que mostram o menor consumo de energia são o THR, MAD e IQR. Estas três políticas de alocação são as que tiveram o maior número de migrações, conforme a Figura 1, indicando que para obter o menor consumo de energia total, o algoritmo acaba fazendo um grande número de migrações de VMs.

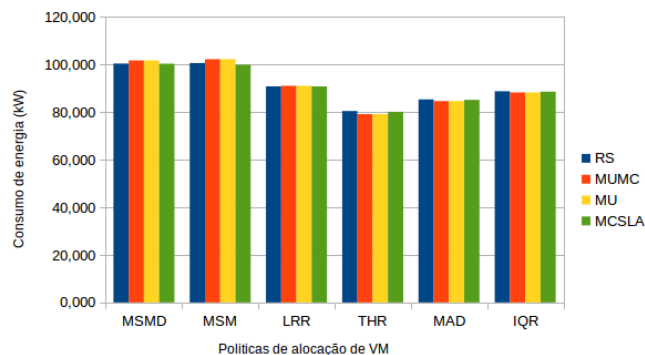


Figura 2. Gráfico do consumo de energia total.

##### C. Consumo de energia por porta de um switch

Com base nos valores de tempo médio de migração de cada VM, a Equação 1 foi desenvolvida no simulador para já fornecer o resultado final, de modo a otimizar a obtenção dos resultados. Os resultados estão condensados na Tabela IV, onde as linhas são as políticas de alocação e as colunas são as políticas de seleção de VMs. Os valores estão na notação de Wh.

Tabela IV. CONSUMO DE ENERGIA POR PORTA DE UM SWITCH, EM WH.

	MCSLA	MU	MUMC	RS
THR	29,00	66,04	66,04	31,27
MSMD	9,86	11,66	11,66	9,86
MSM	9,71	12,24	12,24	11,04
LRR	18,23	29,91	29,91	20,22
MAD	30,43	66,97	66,97	33,25
IQR	31,72	65,60	65,60	33,02

Observa-se que ao relacionar estes dados em um gráfico, conforme a Figura 3, as políticas de alocação de VMs que mostram o menor consumo de energia são o MSM e o MSMD.

Isso ocorre devido ao baixo número de migrações que estes algoritmos realizam. Todavia, ao considerar que o peso do consumo da porta é baixo em relação ao consumo de um host físico, e adicionando o consumo do switch ao final, seu valor parece irrisório.

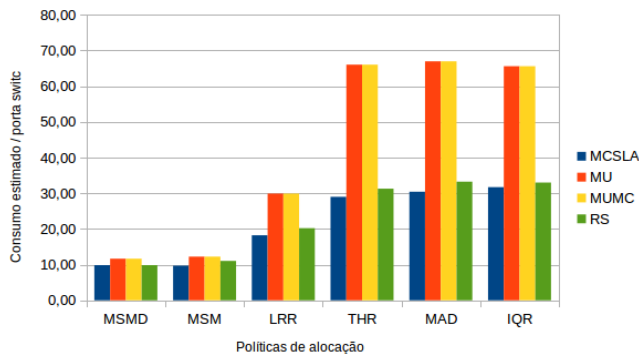


Figura 3. Gráfico do consumo de energia total.

#### D. Violação Média do SLA

Em se tratando de violações do SLA, os valores apresentados na Tabela V mostram uma média geral de 11,35%. Como os valores estão muito próximos, um gráfico não diferenciaria seus valores de modo proveitoso. Avaliando-se as políticas de alocação (linhas) e as políticas de seleção de VMs (colunas), o par (MAD,MUMC) e (MAD,MU) apresentaram o maior percentual de violações do SLA.

Tabela V. VIOLAÇÃO MÉDIA DO SLA.

	Media	RS	MUMC	MU	MCSLA
<b>Média</b>	11,35%	10,34%	12,30%	12,30%	10,47%
THR	10,78%	9,97%	11,86%	11,86%	9,44%
MSMD	11,22%	10,47%	11,89%	11,89%	10,64%
MSM	11,30%	10,51%	11,95%	11,95%	10,81%
LRR	10,60%	9,98%	11,18%	11,18%	10,08%
MAD	12,47%	10,87%	13,93%	13,93%	11,16%
IQR	11,72%	10,22%	12,99%	12,99%	10,68%

#### V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostra que, mesmo adotando um método de consolidação de VMs em um gerenciador de computação em nuvem visando a redução do consumo de energia, os equipamentos de rede também devem ser considerados pelo impacto na migração de VMs. Os resultados mostraram que há um grande potencial de redução de energia ao considerar os equipamentos de rede no desenvolvimento de algoritmos que visam a redução do consumo. Os resultados finais mostram que, mesmo sendo valores baixo em relação ao consumo total de uma infraestrutura de computação em nuvem, os valores podem chegar a 57Wh de diferença entre algoritmos de consolidação de VMs.

Os testes implementados no simulador CloudSim indicam que, embora os algoritmos de alocação MSM e MSMD não reduzem efetivamente o consumo de energia, mas apresentam

o menor número de migrações, que impacta diretamente no consumo das portas do switch. Uma contribuição do presente trabalho é a apresentação de um modelo matemático simples mas de fácil aplicação e replicação para outros simuladores que não possuem suporte nativo para considerar o consumo de energia em equipamentos de rede.

Como trabalhos futuros, estima-se considerar o impacto do consumo de energia nos equipamentos de armazenamento, tendo em vista o alto consumo de energia e latência proporcionado pelos discos rígidos. Está em vias de desenvolvimento um algoritmo de consolidação de VMs holístico, ciente de equipamentos de processamento, rede, armazenamento e refrigeração, de modo a encontrar um equilíbrio ideal no consumo de energia, uso de rede e violações do SLA.

#### REFERÊNCIAS

- [1] V. Turner, D. Reinsel, J. F. Gantz, and S. Minton, "The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things," EMC and IDC, USA, White Paper 1672, apr 2014.
- [2] R. Morabito, "Power Consumption of Virtualization Technologies: an Empirical Investigation," *IEEE/ACM UCC 2015 SD3C*, 2015.
- [3] D. S. Camargo and C. C. Miers, "Greenhop: Open source pue continuous monitoring for small and medium data centers," *XLII Latin American Computing Conference (CLEI2016)*, 2016.
- [4] A. Corradi, M. Fanelli, and L. Foschini, "VM consolidation: A real case based on OpenStack cloud," *Future Generation Computer Systems*, vol. 32, pp. 118–127, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X12001082>
- [5] A. Hameed, A. Khoshkbarforousha, R. Ranjan, P. P. Jayaraman, J. Kolodziej, P. Balaji, S. Zeadally, Q. M. Malluhi, N. Tziritas, A. Vishnu, S. U. Khan, and A. Zomaya, "A survey and taxonomy on energy efficient resource allocation techniques for cloud computing systems," *Computing*, vol. 98, no. 7, pp. 751–774, 2016. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s00607-014-0407-8>
- [6] I. Rodero, H. Viswanathan, E. K. Lee, M. Gamell, D. Pompili, and M. Parashar, "Energy-efficient thermal-aware autonomic management of virtualized HPC cloud infrastructure," *Journal of Grid Computing*, vol. 10, no. 3, pp. 447–473, 2012. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s10723-012-9219-2>
- [7] Y. Mhedheb, F. Jrad, J. Tao, J. Zhao, J. Kołodziej, and A. Streit, "Load and thermal-aware VM scheduling on the cloud," in *Algorithms and Architectures for Parallel Processing*, ser. Lecture Notes in Computer Science, J. Kołodziej, B. D. Martino, D. Talia, and K. Xiong, Eds. Springer International Publishing, 2013, no. 8285, pp. 101–114, DOI: 10.1007/978-3-319-03859-98. [Online]. Available: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-03859-9-8>
- [8] H. R. Qavami, S. Jamali, M. K. Akbari, and B. Javadi, "Dynamic resource provisioning in cloud computing : a heuristic markovian approach," *Proceedings of the 4th International Conference on Cloud Computing (CloudComp 2013), October 17 – 19, 2013, Wuhan, China, 2013*. [Online]. Available: <http://researchdirect.uws.edu.au/islandora/object/uws%3A19911/>
- [9] A. Beloglazov, "Energy-efficient management of virtual machines in data centers for cloud computing," 2013. [Online]. Available: <https://minerva-access.unimelb.edu.au/handle/11343/38198>
- [10] M. A. H. Monil and R. M. Rahman, "Fuzzy logic based energy aware VM consolidation," in *Internet and Distributed Computing Systems*, ser. Lecture Notes in Computer Science, G. D. Fatta, G. Fortino, W. Li, M. Pathan, F. Stahl, and A. Guerrieri, Eds. Springer International Publishing, 2015-09-02, no. 9258, pp. 31–38, DOI: 10.1007/978-3-319-23237-94. [Online]. Available: <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23237-9-4>
- [11] M. Guzek, D. Kliazovich, and P. Bouvry, "HEROS: Energy-efficient load balancing for heterogeneous data centers," *IEEE 8th International Conference on Cloud Computing*, pp. 742–749, 2015. [Online]. Available: [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=7214113](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=7214113)

- [12] K. L. Eun, "Proactive thermal-aware management in cloud datacenters," *T3TM7CV5*, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.7282/T3TM7CV5>
- [13] N. Akhter and M. Othman, "Energy aware resource allocation of cloud data center: review and open issues," *Cluster Computing*, vol. 19, no. 3, pp. 1163–1182, 2016. [Online]. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s10586-016-0579-4>
- [14] M. R. Velayudhan Kumar and S. Raghunathan, "Heterogeneity and thermal aware adaptive heuristics for energy efficient consolidation of virtual machines in infrastructure clouds," *Journal of Computer and System Sciences*, vol. 82, no. 2, pp. 191–212, 2016. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002200001500080X>
- [15] A. Beloglazov and R. Buyya, "Optimal online deterministic algorithms and adaptive heuristics for energy and performance efficient dynamic consolidation of virtual machines in cloud data centers," *Concurrency Computat.: Pract. Exper.*, vol. 24, no. 13, pp. 1397–1420, 2012. [Online]. Available: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cpe.1867/abstract>
- [16] P. Reviriego, V. Sivaraman, Z. Zhao, J. A. Maestro, A. Vishwanath, A. Sánchez-Macian, and C. Russell, "An energy consumption model for energy efficient ethernet switches," in *High Performance Computing and Simulation (HPCS), 2012 International Conference on*. IEEE, 2012, pp. 98–104. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs-all.jsp?arnumber=6266897>
- [17] Xiang Li, Xiaohong Jiang, Kejiang Ye, and Peng Huang, "DartCSim+: Enhanced CloudSim with the power and network models integrated," in *2013 IEEE Sixth International Conference on Cloud Computing*. IEEE, 2013-06, pp. 644–651. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6676752>
- [18] A. P. M. D. L. F. Vigliotti and D. M. Batista, "A green network-aware VMs placement mechanism," in *2014 IEEE Global Communications Conference*, 2014, pp. 2530–2535.
- [19] A. Malik, K. Bilal, S. Malik, Z. Anwar, K. Aziz, D. Kliazovich, N. Ghani, S. Khan, and R. Buyya, "CloudNetSim++: A GUI based framework for modeling and simulation of data centers in OMNeT++," *IEEE Transactions on Services Computing*, no. 1, pp. 1–1, 2015. [Online]. Available: [/csdl/trans/sc/preprint/07312485-abs.html](http://csdl/trans/sc/preprint/07312485-abs.html)
- [20] Cisco. Calculating power for cisco StackPower and the cisco catalyst 3750-x series switches white paper. [Online]. Available: [http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3750-x-series-switches/white\\_paper\\_c11-663717.html](http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3750-x-series-switches/white_paper_c11-663717.html)