



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2022

ANDRÉ FERNANDO DE CASTRO DA SILVA, Cap Eng

**A adoção de um modelo de gestão centralizada dos recursos computacionais
de alto desempenho no âmbito do DCTA**

Rio de Janeiro
2022

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2022

ANDRÉ FERNANDO DE CASTRO DA SILVA, Cap Eng

**A adoção de um modelo de gestão centralizada dos recursos computacionais
de alto desempenho no âmbito do DCTA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Ciência, Tecnologia e Inovação

Orientador: Israel Cordeiro dos Santos Rocha, Maj Eng

Rio de Janeiro

2022

ANDRÉ FERNANDO DE CASTRO DA SILVA, Cap Eng

**A adoção de um modelo de gestão centralizada dos recursos computacionais
de alto desempenho no âmbito de DCTA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da
Aeronáutica.

Aprovado por:

Alexandre **Fontoura** da Silva, Maj Inf
EAOAR

Israel Cordeiro dos Santos Rocha, Maj Eng
EAOAR

Rio de Janeiro

2022

RESUMO

O uso de simulações numéricas nas mais variadas áreas de pesquisa apresentou um vertiginoso aumento nas últimas décadas. Por causa da sua alta complexidade, tais simulações requerem o uso de máquinas especiais, comumente chamadas de *clusters* ou recursos computacionais de alto desempenho (RCAD). Atualmente, existem no âmbito do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) diversos grupos de pesquisa que mantêm e administram *in loco* seus próprios RCAD. Em contrapartida, este trabalho defende que uma gestão centralizada propicia uma maior disponibilidade de uso dos RCAD para os diversos projetos de pesquisa no âmbito das Organizações Militares do DCTA devido a dois principais motivos. Primeiramente, a adoção de um modelo de gestão centralizada permite um aumento da disponibilidade presente dos RCAD na medida que permite uma maior eficiência na alocação dos recursos técnicos especializados necessários para manter a infraestrutura dedicada. Em segundo lugar, um modelo centralizado permite um aumento da perspectiva futura de disponibilidade dos RCAD por meio de uma alocação mais eficiente dos recursos financeiros disponíveis. A concepção e implementação de um plano estratégico de manutenção, atualização e expansão das capacidades existentes permite uma gestão eficiente da obsolescência da infraestrutura existente, bem como estabelece um alinhamento entre as aquisições futuras e os objetivos estratégicos da FAB. Por fim, considerando a relevância estratégica da realização de pesquisas de alto nível na manutenção e elevação do protagonismo do Brasil no campo do saber aeroespacial, é de fundamental importância que se adote modelos modernos de gestão dos RCAD, potencializando as capacidades nacionais.

Palavras-chave: RCAD. HPC. Modelo de Negócios. Computação Científica.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento do poder computacional disponível ao longo das últimas décadas possibilitou o uso rotineiro de simulações numéricas de modelos matemáticos que descrevem fenômenos físicos de interesse da engenharia e das ciências de forma geral. Hoje, tais simulações tem papel fundamental tanto na pesquisa básica quanto nas diversas etapas de projeto de veículos aeroespaciais, substituindo, em alguns casos, até ensaios em túneis de vento (ANDERSON, 1995).

A complexidade de uma simulação típica, no entanto, requer o uso de equipamentos específicos que permitem o uso massivo e eficiente de paralelismo, ou seja, a capacidade de reduzir o tempo total de simulação por meio do emprego simultâneo de muitos processadores. Tais equipamentos especiais são conhecidos como recursos computacionais de alto desempenho (RCAD, do inglês *High Performance Computing* ou HPC) ou, mais corriqueiramente, como *clusters*. As maiores infraestruturas de RCAD do mundo são capazes de realizar um quatrilhão de operações matemáticas por segundo e consomem tanta energia elétrica quanto uma pequena cidade (PARNELL *et al.*, 2019).

No âmbito do Comando da Aeronáutica, o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) é protagonista no desenvolvimento de “conhecimento, produtos, tecnologias, materiais, serviços e sistemas” (BRASIL, 2018, p.14) no campo da ciência, tecnologia e inovação (CT&I). Existem hoje no âmbito do DCTA diversos grupos de pesquisa que fazem uso intensivo de recursos computacionais para a execução de suas atividades de pesquisa. Tais recursos são geralmente descentralizados, com cada grupo mantendo e gerindo *in loco* seus próprios RCAD e mantendo pouca ou nenhuma interação com os demais grupos.

Nesse contexto, o presente trabalho defende que a adoção de uma gestão centralizada propicia uma maior disponibilidade dos RCAD para os diversos projetos de pesquisa no âmbito das Organizações Militares (OM) do DCTA. Duas vantagens se destacam dentre as possíveis. Primeiramente, uma gestão centralizada promove um aumento da disponibilidade presente dos RCAD à medida que permite uma alocação mais eficaz das capacidades de Tecnologia da Informação (TI) para suporte especializado da infraestrutura dedicada, permitindo uma recuperação mais rápida de falhas e a adoção de protocolos multiusuários mais eficientes. Em segundo lugar, a mudança sugerida permite um aumento da perspectiva futura de

disponibilidade das máquinas por meio de um melhor uso dos recursos financeiros disponíveis. A concepção e execução de um planejamento único de manutenção, atualização e expansão das capacidades computacionais da organização-sede permite uma gestão mais eficiente da obsolescência das máquinas, bem como propicia uma orientação estratégica que busque os recursos necessários para melhor atender as demandas futuras da Força Aérea Brasileira (FAB).

2 DESENVOLVIMENTO

Com o aumento da frequência dos processadores atingindo seu limite por questões térmicas (MARKOV, 2014), o advento do processamento paralelo possibilitou a continuidade do crescimento do desempenho computacional que pode ser observado nas décadas anteriores. Tal tendência já havia sido predita por Moore (1965), o qual previu que o número de componentes por circuito integrado e, conseqüentemente, o desempenho dos processadores, dobraria a cada dois anos. O nascimento desse novo paradigma de processamento paralelo se deu com o surgimento das máquinas vetoriais na década de 1970 e tomou força com o advento dos multiprocessadores baseados no conceito de memória compartilhada no início dos anos 2000 (STROHMAIER *et al.*, 2005).

O próximo passo desse desenvolvimento foi o processo de clusterização: a interconexão de diversas máquinas por meio de uma rede rápida de troca de informações. Como nesse caso cada máquina é incapaz de acessar diretamente os bancos de memória situados nas demais máquinas da rede, este novo conceito ficou conhecido como o paradigma de memória distribuída (GILES e REGULY, 2014). Mais recentemente foi observado um novo movimento no sentido de ampliar a heterogeneidade desse grupo de máquinas (GEIST e REED, 2017), especializando cada subgrupo delas na execução de determinado tipo de tarefa. Convencionou-se chamar tais grupos de máquinas de RCAD ou *clusters*.

Em suas principais aplicações, os *clusters* possuem duas características que os tornam singulares: eles serem multiusuário e possuírem arquitetura complexa. Devido ao seu alto custo de aquisição e manutenção, os RCAD são frequentemente compartilhados por muitos usuários (BASILI *et al.*, 2008). Tais usuários podem ser os diferentes pesquisadores de um mesmo grupo de pesquisa, como no caso de uma máquina de pequeno porte, ou diferentes grupos de pesquisa, como no caso das

máquinas de grande porte tipicamente situadas em Centros de Computação de Alto Desempenho. Além disso, tais máquinas frequentemente requerem a integração de *software* e *hardware* bem específicos, muitas vezes provenientes de fornecedores distintos, em uma arquitetura complexa, que é bem diferente daquela tipicamente encontrada em computadores pessoais (MCLAY *et al.*, 2011).

Dessa forma, nas seções a seguir, serão apresentados os modelos típicos de gestão adotados pelas instituições de pesquisa e ensino superior ao redor do mundo e como a gestão centralizada dos RCAD se destaca como um importante passo para aumentar a disponibilidade presente e futura desses recursos para o DCTA.

2.1 Aumentando a disponibilidade presente

Conforme Eurich, Calleja e Boutellier (2013), existem quatro modelos de negócio que representam as formas com as quais os centros de computação de alto desempenho, sediados em instituições de ensino e pesquisa da Europa, são tipicamente estruturados. Dentre eles, se destacam os modelos biblioteca e acionista.

No modelo biblioteca (do inglês *library*), a infraestrutura de RCAD é financiada exclusivamente pela instituição-sede e oferecida aos grupos de pesquisa como uma conveniência a mais disponibilizada pela instituição. Um exemplo de adoção desse modelo é a Universidade de Southampton. Tendo em vista os altos custos envolvidos com a aquisição e manutenção de RCAD que suportem pesquisa de alto nível, sua adoção no cenário econômico atual é inexecutável para as OMs do DCTA.

No modelo de acionista (do inglês *shareholder*), um grupo de interessados se reúne para combinar seus recursos e adquirir um *cluster* de grande porte. Cada acionista recebe então uma fração das horas disponíveis do equipamento proporcional à sua contribuição para a compra dele e dividem entre si a responsabilidade de gerência e manutenção. Nesse caso, os interessados são tipicamente representados pelos diversos grupos de pesquisa da instituição-sede. Exemplos de instituições que adotam esse modelo são o Instituto Federal de Tecnologia de Zurique (ETH Zurich) e a Universidade de Edimburgo.

Esse último modelo de gestão compete diretamente com a alternativa de cada grupo de pesquisa manter e gerir sua própria infraestrutura de pesquisa. No entanto, quando a gestão é feita de forma descentralizada, os altos custos inerentes ao

suporte especializado frequentemente fazem com que tarefas como manutenção e gestão de usuários e de software sejam conduzidos pelos próprios pesquisadores envolvidos, *i.e.*, um docente sem experiência técnica na área ou um aluno de pós-graduação (EURICH, CALLEJA e BOUTELLIER, 2013; VARRETTE *et al.*, 2014). Em virtude da pouca experiência pregressa, o suporte oferecido por tais pesquisadores é tipicamente limitado, com tempo de resposta alto e soluções implementadas subótimas, prejudicando tanto a disponibilidade quanto o desempenho das máquinas. Assim sendo, embora vários grupos de pesquisa sejam capazes de angariar os recursos necessários para adquirir seus próprios equipamentos, poucos estão preparados para cumprir as responsabilidades de manter e gerir essa complexa infraestrutura (DONGARRA *et al.*, 2003).

Dessa forma, o modelo de gestão centralizada que se propõe neste trabalho pode ser considerado um híbrido entre os dois modelos definidos por Eurich, Calleja e Boutellier (2013) e se assemelha ao modelo adotado pela Universidade de Purdue (SMITH e HARRELL, 2021). Enquanto a dinâmica de aquisição e compartilhamento das máquinas segue o modelo de acionista, a gestão e o suporte dos RCAD seguem o modelo biblioteca, com a alocação de uma equipe técnica especializada no suporte às complexidades inerentes aos RCAD sendo custeada pelas OMs do DCTA. Tal proposta garante vantagens em comparação com o modelo descentralizado no que diz respeito à estratégia de suporte de TI.

Primeiramente, ela permite a consolidação de uma doutrina única de gerenciamento de todas as máquinas sob sua responsabilidade, tanto no tocante ao *software* utilizado quanto aos elementos da política multiusuário, contribuindo com a diminuição da sobrecarga de gerenciamento desses sistemas e propiciando uma maior rastreabilidade e robustez das ações realizadas (MCLAY *et al.*, 2011). Em segundo lugar, a centralização permite uma gestão mais eficiente dos custos associados ao suporte especializado, visto que o setor gestor é capaz de responder de maneira mais eficaz à demanda consolidada, alocando apropriadamente o quantitativo de pessoal e fornecendo o treinamento necessário. Tal iniciativa pode ser entendida como um exemplo de departamentalização, que sabidamente leva à otimização dos recursos organizacionais (CHIAVENATO, 2020). Por fim, a adoção desse modelo permite a criação e disseminação de uma cultura de boas práticas (envolvendo manutenção preventiva, por exemplo), permitindo assim o prolongamento da vida útil das máquinas (LATHROP *et al.*, 2019).

Todos os aspectos listados levam a uma maior disponibilidade presente dos RCAD, seja pelo menor número de máquinas indisponíveis por panes de *software* e *hardware* ou pelo aumento da eficiência em termos de custos, gerando uma economia que pode ser direcionada para a ampliação dos recursos computacionais.

2.2 Aumentando a disponibilidade futura

Nos grandes centros de pesquisa ao redor do globo, *clusters* tem uma vida útil esperada de três a cinco anos (MCLAY *et al.*, 2011) em virtude do acelerado ritmo de obsolescência desse tipo de equipamento. Em um grupo de pesquisa típico no DCTA, no entanto, tais equipamentos permanecem ativos por muito mais tempo devido à natureza inconstante dos investimentos. Embora uma parcela considerável dessas máquinas tenha sido adquirida com verbas provenientes de agências de fomento, ao fim do projeto elas passam a fazer parte do patrimônio da instituição-sede, que se torna então responsável por um equipamento que já se encontra em um estágio avançado de seu ciclo de vida.

Nesse contexto, um planejamento estratégico centralizado dos RCAD é de suma importância por uma série de razões. Primeiramente, uma gestão centralizada permite um planejamento logístico de manutenção e suporte ao longo do ciclo de vida esperado das máquinas (SEGRETI, FARBER, e MONDINI, 2004; SHIYAS, 2021), otimizando o uso de insumos e mão de obra. A consolidação das ocorrências de manutenção em um único gestor permite também um melhor controle do histórico de falhas e, conseqüentemente, um melhor planejamento das necessidades futuras. Além disso, a centralização das necessidades permite um compartilhamento de recursos (*e.g.*, compartilhamento de licenças de *software*), além de gerar economia na aquisição de insumos ao possibilitar uma economia de escala, *i.e.*, potencial de redução de preços em compras de grande volume.

Em segundo lugar, a gestão centralizada propicia um planejamento de atualização e expansão dos RCAD que torne mais eficiente a utilização dos recursos existentes (EURICH, CALLEJA e BOUTELLIER, 2013) e garanta um alinhamento estratégico das aquisições com as demandas da FAB (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018). Tal aumento de eficiência se dá, por um lado, pela visão mais abrangente detida pelo gestor, permitindo a escolha da fonte de recursos mais apropriada para cada caso. Por outro lado, a presença de um gestor

especialista e atualizado com as mais recentes tendências tecnológicas permite um melhor assessoramento aos diversos grupos de pesquisa, tanto na fase de prospecção de recursos quanto durante o processo de aquisição, garantindo um melhor custo-benefício. Dessa forma, garante-se não apenas uma gestão adequada da obsolescência dos equipamentos existentes, mas também uma visão estratégica unificada que busque a disponibilidade futura dos recursos necessários ao cumprimento da missão da FAB.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste ensaio, abordou-se como a escolha do modelo de gestão dos RCAD impacta a sua disponibilidade de uso presente e futuro. Atualmente, as diversas infraestruturas de RCAD distribuídas no âmbito do DCTA são geridas de forma descentralizada. Tal modelo de gestão se mostra ineficiente por vários motivos.

Alternativamente, argumentou-se que a centralização da gestão dos RCAD permite uma alocação mais eficiente dos recursos de TI necessários para garantir uma maior disponibilidade presente dos recursos computacionais. Com a presença perene de um suporte especializado de qualidade e a consequente adoção de protocolos de gestão de falhas e de políticas de compartilhamento multiusuário, tanto o tempo de indisponibilidade das máquinas quanto o custo diminuiriam.

Além disso, ressaltou-se que o modelo centralizado permite um aumento da perspectiva futura de disponibilidade das máquinas por meio do estabelecimento de um plano estratégico de manutenção das máquinas existentes e aquisição de novos equipamentos. Tal plano teria por objetivo retardar o ritmo de obsolescência dos RCAD e permitir uma gestão eficiente dos recursos existentes na expansão das capacidades existentes com vistas a dar suporte aos interesses estratégicos da FAB.

Com base nesses argumentos, foi defendida a tese que a adoção de uma gestão centralizada dos RCAD detidos pelos diversos grupos de pesquisa do DCTA é capaz de garantir uma maior disponibilidade deles. Com a crescente importância desses recursos na condução de pesquisa de alto nível, é de suma importância que se adote modelos modernos de gestão, garantindo as capacidades necessárias para manter e ampliar o protagonismo do Brasil no campo do saber aeroespacial. Esse modelo centralizado poderá servir de referência para outras instituições de pesquisas civis e militares em todo o território nacional.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. D. **Computational fluid dynamics: the basics with applications**. New York: McGraw-Hill, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/IEC 38500:2018: Governança corporativa de tecnologia da informação**. Rio de Janeiro, 2018.
- BASILI, V. R.; CARVER, J. C.; CRUZES, D.; HOCHSTEIN, L.; HOLLINGSWORTH, J. K.; SHULL, F.; ZELKOWITZ, M. V. Understanding the High-Performance-Computing Community: A Software Engineer's Perspective. **IEEE Software**, v. 25, n. 4, p. 29–36, 2008.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **PCA 11-47** Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018 – 2027. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/pemaer.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2022.
- CHIAVENATO, I. **Introdução a Teoria Geral Da Administração**. 10ª Edição. Editora Atlas, 2020.
- DONGARRA, J.; STERLING, T.; SIMON, H.; STROHMAIER, E. **High performance computing: Clusters, constellations, MPPs, and future directions**. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2003. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/95d2c8xn>. Acesso em: 04 jul. 2022.
- EURICH, M.; CALLEJA, P.; BOUTELLIER, R. Business models of high performance computing centres in higher education in Europe. **Journal of Computing in Higher Education**, v. 25, n. 3, p. 166–181, 2013.
- GEIST, A.; REED, D. A. A survey of high-performance computing scaling challenges. **The International Journal of High Performance Computing Applications**, v. 31, n. 1, p. 104–113, 2017.
- GILES, M. B.; REGULY, I. Trends in high-performance computing for engineering calculations. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 372, n. 2022, 2014.
- LATHROP, S.; MENDES, C.; ENOS, J.; BODE, B.; BAUER, G.; SISNEROS, R.; KRAMER, W. Best practices for management and operation of large HPC installations. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, v. 31, n. 16, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cpe.5069>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- MARKOV, I. L. Limits on fundamental limits to computation. **Nature**, v. 512, n. 7513, p. 147–154, 2014.
- MCLAY, R.; SCHULZ, K.W.; BARTH, W.L.; MINYARD, T. Best practices for the deployment and management of production HPC clusters. *In*: STATE OF THE

PRACTICE REPORTS, 2011, Seattle, Washington. **Anais** [...]. Seattle, Washington: ACM Press, 2011. p. 1. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2063348.2063360>. Acesso em: 13 jun. 2022.

MOORE, G. E. Cramming more components onto integrated circuits, Reprinted from *Electronics*, volume 38, number 8, April 19, 1965, pp. 114 ff. **IEEE solid-state circuits society newsletter**, v. 11, n. 3, p. 33-35, 2006.

PARNELL, L. A.; DEMETRIOU, D. W.; KAMATH, V.; ZHANG, E.Y. Trends in High Performance Computing: Exascale Systems and Facilities Beyond the First Wave. *In: 2019 18TH IEEE INTERSOCIETY CONFERENCE ON THERMAL AND THERMOMECHANICAL PHENOMENA IN ELECTRONIC SYSTEMS (ITHERM)*, 2019, Las Vegas, NV, USA. **Anais** [...]. Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2019. p. 167–176. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8757229/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

SEGRETI, J. B.; FARBER, J. C.; MONDINI, L. C. A importância da gestão estratégica de custos logísticos. *In: XI Congresso Brasileiro de Custos, 2004, Porto Seguro, BA, Brasil. Anais* [...]. Porto Seguro, BA, Brasil. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/2281>. Acesso em: 13 jun. 2022

SHIYAS, K. M. M. Importance and challenges of Maintenance Service Logistics. **Logistics Journal**, v. 2021, n. 10, 2021. Disponível em: <https://www.logistics-journal.de/not-reviewed/2021/10/5380>. Acesso em: 13 jun. 2022.

SMITH, P.; HARRELL, S.L. Research Computing on Campus - Application of a Production Function to the Value of Academic High-Performance Computing. *In: PEARC '21: PRACTICE AND EXPERIENCE IN ADVANCED RESEARCH COMPUTING*, 2021, Boston MA USA. **Anais** [...]. Boston MA USA: ACM, 2021. p. 1–8. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3437359.3465564>. Acesso em: 13 jun. 2022.

STROHMAIER, E.; DONGARRA, J.J.; MEUER, H.W.; SIMON, H.D. Recent trends in the marketplace of high performance computing. **Parallel Computing**, v. 31, n. 3–4, p. 261–273, 2005.

VARRETTE, S.; BOUVRY, P.; CARTIAUX, H.; GEORGATOS, F. Management of an academic HPC cluster: The UL experience. *In: 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH PERFORMANCE COMPUTING & SIMULATION (HPCS)*, 2014, Bologna, Italy. **Anais** [...]. Bologna, Italy: IEEE, 2014. p. 959–967. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6903792/>. Acesso em: 13 jun. 2022.