



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2023

KLAYTON DA CRUZ **FACRE** MONTEIRO, Cap Av

**Fortalecendo o Comando e Controle da Força Aérea Brasileira**

Rio de Janeiro

2023

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2023

KLAYTON DA CRUZ **FACRE** MONTEIRO, Cap Av

**Fortalecendo o Comando e Controle da Força Aérea Brasileira**

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: Gestão Institucional  
Orientador: Julio Cesar do Amaral Junior,  
Ten Cel Inf

Rio de Janeiro

2023

KLAYTON DA CRUZ **FACRE** MONTEIRO, Cap Av

**Fortalecendo o Comando e Controle da Força Aérea Brasileira**

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

Aprovado por:

---

**Julio Cesar** do Amaral Junior, Ten Cel Inf  
EAOAR

---

**Isabel** Corrêa da **Costa** Mileski, Maj Dent  
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

## RESUMO

A FAB enfrenta desafios diários de coordenar e controlar suas operações de maneira eficiente para defender, controlar e integrar mais de 22 milhões de quilômetros quadrados sob sua responsabilidade. O Centro de Computação da Aeronáutica de São José dos Campos fornece sistemas de informação para Comando e Controle (C2) que possibilitam ao COMAER a superação destes desafios. Sistemas de C2 são considerados sistemas críticos e por isso necessitam apresentar robustez em toda a sua estrutura. Para alcançar esta robustez o presente ensaio defende a adoção de uma arquitetura multi-servidor para hospedar os sistemas de C2. Isto permitirá maior resiliência, pois com servidores distribuídos em diferentes *Data Centers* a cadeia de C2 pode continuar operando mesmo diante da inutilização de alguns dos servidores que hospedam estes sistemas. Diante da capacidade aumentada de conexões, proporcionada pela arquitetura multi-servidor, também será possível maior mobilidade aos militares através do desenvolvimento de aplicativos para *smartphones*, que permitam acesso aos sistemas de C2, os quais apresentam peso e dimensões reduzidas e podem ser facilmente transportados. A segurança da informação de Sistemas acessados pela Internet é importante, mas não serão discutidos detalhes específicos neste ensaio. A utilização de sistemas hospedados em vários servidores e com possibilidade de acesso pela Internet por meio de aplicativos para *smartphones* promove resiliência do C2, permite a mobilidade dos militares e aprimora a capacidade operacional da Força Aérea, além de abrir potencialidades para maior interconectividade dos Sistemas de C2 da FAB com os de outras Organizações a nível do Ministério da Defesa.

**Palavras-chave:** Comando e Controle. Sistemas. *Smartphones*. Mobilidade. Resiliência.

## 1 INTRODUÇÃO

A Força Aérea Brasileira (FAB) possui Organizações Militares (OM) espalhadas por todo território brasileiro e diariamente enfrenta o desafio de coordenar suas operações de maneira eficiente para defender, controlar e integrar mais de 22 milhões de quilômetros quadrados. Para alcançar a eficiência necessária no Comando e Controle (C2) dessas operações, os Sistemas de Informação tornaram-se essenciais. A velocidade da troca de informações entre o Comando e as unidades executoras, bem como a análise da eficácia das ações, são alguns dos motivos que impulsionam o amplo uso da tecnologia no C2 da FAB.

O Centro de Computação da Aeronáutica de São José dos Campos (CCA-SJ) é a OM do Comando da Aeronáutica (COMAER) responsável pelo desenvolvimento de sistemas que garantam um adequado C2 à FAB. Para manterem-se úteis, esses sistemas devem estar em constante evolução, sendo adaptados a novos cenários e permanecendo acessíveis de qualquer lugar e a qualquer hora, mesmo em condições desafiadoras.

As plataformas (sistemas) de C2 são consideradas críticas em razão da atividade que suportam e, por isso, necessitam apresentar robustez em toda a sua estrutura. Atualmente, todo o C2 da Força Aérea está hospedado unicamente em Brasília, criando um ponto único de falha e uma fragilidade para todo o sistema. Para solucionar esta fragilidade este ensaio defende a adoção de uma arquitetura multi-servidor para hospedar os sistemas de C2.

Com a adoção da arquitetura aqui defendida será possível manter a cadeia de Comando e Controle permanentemente em operação, de forma que a queda de um único servidor não afete todo o sistema de C2, tornando-o resiliente por meio da eliminação do ponto único de falha.

Além disso, com a implementação da arquitetura multi-servidor e aumento da capacidade dos sistemas de C2 em receber conexões, seria possível migrar de um sistema que é atualmente acessado exclusivamente por computadores *desktop* para um sistema onde o usuário acessaria a cadeia de C2 por meio de aplicativos para *smartphones*, isso porque um sistema assim garante mobilidade aos militares em operação ao conferir a capacidade de se conectar à cadeia de comando a partir de qualquer lugar.

## 2 DESENVOLVIMENTO

A resiliência cibernética pode ser definida como sendo “[...] a habilidade de uma rede de prover e manter um nível de serviço aceitável em face de várias falhas e desafios à operação normal” (STERBENZ et al., 2010), neste ensaio ela será aplicada não somente a redes de computador, mas também a sistemas de C2. Os desafios à operação normal podem ser entendidos como necessidades de retirar o servidor do ar para manutenção, ataques cibernéticos para tentar derrubar os sistemas de C2, dentre outros. Este ensaio defende que a resiliência será alcançada através do uso de uma arquitetura de alta disponibilidade, que é aquela onde um sistema, para funcionar, necessita de um conjunto de servidores, divididos em centrais e de borda, que são colocados em diferentes localizações geográficas. Isso envolve a distribuição da plataforma de C2 em diferentes *Data Centers*, com provedores de acesso à Internet distintos e a possibilidade de acesso aos sistemas de C2 diretamente pela Internet. Além disso os servidores deverão replicar as informações entre si. Ling, Xiaozhen e Yulan (2013) destacam ainda que entre os servidores centrais e de borda existem outros servidores especiais que implementam o mecanismo de balanceamento de carga, de forma que nenhum servidor de borda fique sobrecarregado. Por sua vez Kim et al., (2018) argumenta que um efeito desta arquitetura é a maior resiliência dos sistemas que utilizam esse mecanismo, uma vez que, mesmo diante da inutilização de alguns destes servidores de borda, os demais têm condição de continuar operando e garantir a continuidade dos serviços.

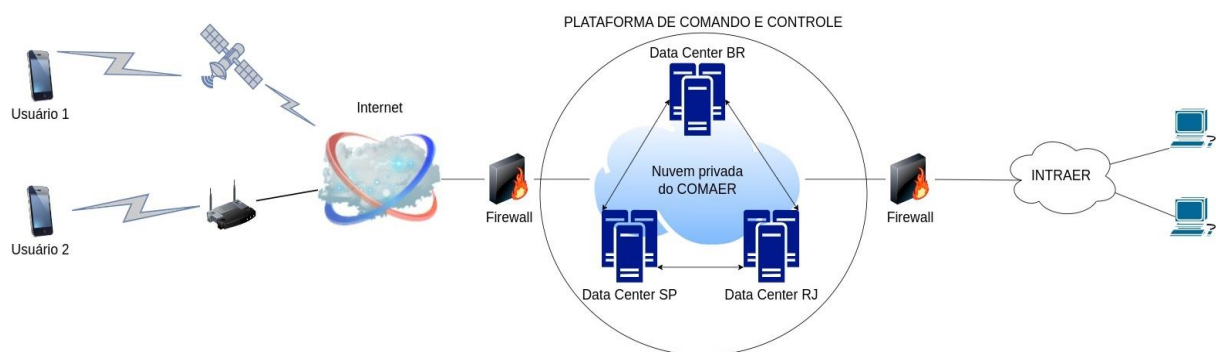
Com a capacidade de acesso aumentada, proporcionada pela arquitetura de alta disponibilidade, torna-se possível o uso de aplicativos móveis para que militares em missão acessem sistemas de C2 pela Internet, proporcionando aos usuários mobilidade ao tornar a plataforma de C2 onipresente. Os *smartphones* são uma solução conveniente, pois são leves, compactos, possuem longa duração da bateria e assim permitem o acesso contínuo aos sistemas de C2, proporcionando mobilidade e reduzindo a falta de comunicação.

É compreensível que surjam considerações sobre segurança da informação acerca de Sistemas acessíveis pela Internet. No entanto, devido às limitações de escopo deste trabalho e em atendimento aos critérios da EAOAR, não serão feitas considerações sobre segurança da informação aqui, pois esse assunto seria mais adequado para outro ensaio acadêmico.

## 2.1 Aumento da resiliência dos sistemas de C2

Sistemas que apresentam um ponto único de falha não podem ser considerados resilientes. Conforme apresentado na introdução, esta é a situação atual dos sistemas de C2 da FAB, que estão concentrados em Brasília. Uma falha neste único *Data Center* é suficiente para levar a uma parada de toda a cadeia de C2.

A arquitetura de alta disponibilidade mencionada anteriormente, conforme explicado por Dinh et al. (2013), pressupõe que o processamento dos dados de C2 pode ocorrer em qualquer servidor dentre um conjunto deles distribuídos por vários *Data Centers* diferentes. Caso haja a queda de um deles, qualquer outro que não esteja sobrecarregado e que preferencialmente esteja localizado mais próximo do usuário poderá fornecer o acesso à cadeia de C2. Essa arquitetura move o poder computacional e o armazenamento de dados para os servidores sobre o controle da organização e possibilitam seu uso por uma gama muito mais ampla de usuários ou outros sistemas. Além disso os dados permanecem em posse do COMAER, que pode limitar o acesso dos usuários ao mínimo necessário para a execução das suas funções na cadeia de C2. Para melhor representar a arquitetura aqui defendida, foi elaborado o diagrama abaixo, representando os elementos citados até aqui:



Os *Data Centers* que hospedam o sistema de C2 podem fazê-lo através de servidores em nuvem (*clouds*), existindo variações quanto ao seu modelo de implantação. Podemos fazer uso de *clouds* privadas, comunitárias, públicas e híbridas (DILLON; WU; CHANG, 2010). Para os objetivos deste ensaio considera-se a implantação de uma nuvem privada, onde o *Data Center* que hospeda o sistema de C2 é de inteira propriedade do COMAER, com as devidas conexões à Internet e configuração. Servidores em nuvem oferecem escalabilidade, facilidade de

administração e, portanto, maior resiliência. Além disso, a escolha de uma nuvem privada é mais conservadora em relação aos aspectos legais.

O sistema passa a ser hospedado agora em um conjunto de servidores, configurados para automaticamente sincronizar as informações em intervalos de tempo regulares. Todos os servidores são idênticos em termos de informações e serviços podendo existir uma dezena deles, e a falha ou destruição de um não afeta os demais, garantindo o funcionamento do C2 com maior resiliência.

Para os usuários, a maneira como tudo é organizado nos bastidores não fica visível. Isso significa que quando alguém acessa a plataforma de C2, não consegue perceber que existem vários servidores distintos, nem qual servidor específico está sendo utilizado ou a quantidade de servidores existentes. Dessa forma, mesmo com uma estrutura complexa nos bastidores, o sistema parece simples e fácil de usar para o usuário final. É importante que o usuário não seja incomodado ou tenha acesso à detalhes técnicos complicados, especialmente quando se trata de um sistema crítico como o Comando e Controle.

Com esta arquitetura a FAB terá um ganho na sua estrutura de Comando e Controle, com sistemas mais resilientes e disponíveis a qualquer dia e hora, suportando o cumprimento de sua missão. Além disso abrem-se potencialidades para maior integração no âmbito do Ministério da Defesa, uma vez que, com a devida autorização e supervisão, as demais Forças poderão trocar informações de forma automatizada e criptografada entre os seus próprios sistemas de C2 e os da FAB, por meio da Internet.

Com a capacidade de conexões aumentada pela arquitetura de alta disponibilidade, aqui defendida, torna-se possível aumentar ainda mais a resiliência ao tornar a plataforma de C2 onipresente, o que pode ser alcançado com o uso de aplicativos para *smartphones*, explicado melhor a seguir.

## **2.2 A mobilidade proporcionada por *smartphones* para acesso aos sistemas**

No Brasil, de acordo com a pesquisa TIC Domicílios realizada em 2022, 93% dos domicílios possuem telefone celular, enquanto *notebooks* estão presentes em 28% e computadores de mesa apenas em 16% (NÚCLEO DE INFORMAÇÃO E COORDENAÇÃO DO PONTO BR, 2022). Diante destes números podemos dizer que os *smartphones* são muito comuns e constituem o principal meio pelo qual o

brasileiro acessa a Internet. Sendo assim também podemos dizer que a maioria dos militares da FAB possuem um *smartphone*. Adaptando-se os sistemas de C2 para funcionarem nesses dispositivos, amplamente disponíveis, poderemos oferecer à FAB uma vantagem estratégica, pois os militares terão acesso à cadeia de C2 de qualquer lugar, utilizando dispositivos que são facilmente transportados.

Este ensaio defende que os militares não precisam estar fisicamente presentes em uma base aérea para trocar informações relevantes de Comando e Controle, pois com a implementação de aplicativos para *smartphones* o C2 alcançará o militar onde quer que ele esteja. A capacidade de estar presente em todos os lugares é conhecida como onipresença e, conforme exposto por Panetto et al. (2016), no contexto de computação, se refere ao desenvolvimento de *softwares* que possam ser usados em diferentes dispositivos, como computadores, *smartphones*, *tablets* e *smartwatches*. Considerando a presença do telefone celular em 93% dos domicílios brasileiros, conforme dados da pesquisa acima, quando os sistemas de C2 puderem funcionar em *smartphones* eles se tornarão onipresentes e permitirão a mobilidade desejada.

Um exemplo concreto da mobilidade oferecida por *smartphones* para uso em C2 foi o desenvolvimento e uso do sistema Pacificador, do Exército Brasileiro. Ele é um sistema de C2 que apoia operações de GLO (Garantia da Lei e da Ordem) e defesa/segurança de grandes eventos. Sua funcionalidade principal é baseada em um aplicativo de celular, o "Pacificador Móvel", conectado a rádios Motorola P-25, que por sua vez se conectam à uma rede de dados privada do Exército Brasileiro. Estas características permitem que o aplicativo transmita continuamente a posição de uma tropa para um Centro de Operações (COp), onde as informações de diferentes aplicativos são agregadas em um mapa interativo, proporcionando ao comandante do Teatro de Operações uma consciência situacional aprimorada. A tropa pode ainda enviar relatórios ao COp diretamente pelo aplicativo (FAN, 2016).

Com o uso de aplicativos de C2 para *smartphones* aqui defendido, pode-se realizar as seguintes atividades: registro da atividade aérea e envio de relatórios de missão (MISREL). Essas atividades de tramitação de informações em texto simples não exigem alto poder computacional, podem ser feitas de forma eficiente em *smartphones*. A mobilidade dos usuários, aqui defendida, contribui para a descentralização da cadeia de C2 como um todo, tanto no *front-end* (aplicativos móveis) quanto no *back-end* (servidores), tornando-a mais adaptável ao cenário

contemporâneo da era da informação, isto porque a cadeia de C2 poderá se mover com maior facilidade conforme os seus militares também se movem.

### 3 CONCLUSÃO

Os Sistemas de Informação são essenciais para atingir a eficiência necessária ao Comando e Controle contemporâneos e o uso de tecnologia neste campo tenderá a aumentar nos próximos anos. Eles são considerados sistemas críticos em razão da atividade que suportam (Comando e Controle), necessitando apresentar robustez em toda a sua estrutura.

Para alcançar essa necessária robustez, este ensaio defendeu uma nova forma de organizar e utilizar sistemas de C2, por meio de uma arquitetura de alta disponibilidade que combina servidores espalhados em *Data Centers* distintos e o uso de aplicativos para dispositivos móveis para acessar estas plataformas de C2 pela Internet.

Uma arquitetura de alta disponibilidade permite que um sistema de C2, hospedado em vários *Data Centers* distintos e com sincronização automática das informações, mantenha a cadeia de Comando e Controle em pleno funcionamento mesmo diante da falha de um ou mais servidores. Desta forma o serviço se torna resiliente por apresentar um nível aceitável de funcionamento mesmo diante de condições desafiadoras.

Com o uso de aplicativos para dispositivos móveis para a troca dados, o Comando e Controle torna-se onipresente e permite aos seus usuários maior mobilidade na condução das operações do dia a dia. Isto porque o sistema de C2 passa a alcançar o militar onde quer que ele esteja, não sendo mais necessário estar em uma base aérea para estar inserido na estrutura de C2 da FAB.

Plataformas de C2 hospedadas em vários *Data Centers*, acessíveis por meio de aplicativos para *smartphones* usando a Internet, fortalecem a resiliência do C2 da FAB, possibilitam a mobilidade dos seus usuários e dessa forma aprimoram a capacidade operacional da Força Aérea. Além disso, abrem oportunidades de expansão para maior interconectividade dos sistemas de C2 da FAB com os de outras organizações no âmbito do Ministério da Defesa através da troca de dados automatizada e criptografada entre os sistemas de C2 de Forças diferentes, utilizando a Internet como um canal para a troca desses dados.

## REFERÊNCIAS

DILLON, T.; WU, C.; CHANG, E. **Cloud computing: Issues and challenges**. Proceedings - International Conference on Advanced Information Networking and Applications, AINA. **Anais...**2010.

DINH, H. T. et al. A survey of mobile cloud computing: Architecture, applications, and approaches. **Wireless Communications and Mobile Computing**, v. 13, n. 18, p. 1587–1611, 25 dez. 2013.

FAN, R. **Sistema Pacificador garantiu segurança e defesa dos Jogos Rio 2016**. Disponível em: <<https://www.defesanet.com.br/eventos/noticia/23721/sistema-pacificador-garantiu-seguranca-e-defesa-dos-jogos-rio-2016/>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

KIM, K. et al. **DDoS Mitigation: Decentralized CDN Using Private Blockchain**. 2018 TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS AND FUTURE NETWORKS (ICUFN 2018). **Anais...**: International Conference on Ubiquitous and Future Networks.345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017 USA: IEEE, 2018.

LING, L.; XIAOZHEN, M.; YULAN, H. **CDN Cloud: A Novel Scheme for Combining CDN and Cloud Computing**. PROCEEDINGS OF 2013 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON MEASUREMENT, INFORMATION AND CONTROL (ICMIC 2013), VOLS 1 & 2. **Anais...**: International Conference on Measurement Information and Control.345 E 47TH ST, NEW YORK, NY 10017 USA: IEEE, 2013.

NÚCLEO DE INFORMAÇÃO E COORDENAÇÃO DO PONTO BR. **Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros: pesquisa TIC Domicílios**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cetic.br/pt/arquivos/domicilios/2022/domicilios/>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PANETTO, H. et al. New perspectives for the future interoperable enterprise systems. **Computers in Industry**, v. 79, p. 47–63, 1 jun. 2016.

RAGLIN, A. et al. **Implementing Internet of Things in a military command and control environment**. Next-Generation Analyst V. **Anais...SPIE**, 3 maio 2017.