

EXATAS E TECNOLÓGICAS

V.4 • N.1 • 2020 - Fluxo Contínuo

ISSN Digital: 2359-4942

ISSN Impresso: 2359-4934

DOI: 10.17564/2359-4942.2020v4n1



## TÉCNICA DE ENSAIOS DE SISTEMAS COMPLEXOS COM METODOLOGIA DE ENGENHARIA DE SISTEMAS & REQUISITOS

TEST TECHNIQUE OF COMPLEX SYSTEMS WITH SYSTEM  
ENGINEERING & REQUIREMENTS METHODOLOGY

TÉCNICA DE PRUEBA DE SISTEMAS COMPLEJOS CON  
METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS & REQUISITOS

Filipe Wiltgen<sup>1</sup>

## RESUMO

O objetivo deste artigo foi de apresentar uma técnica de ensaios e testes a serem aplicados na pesquisa em desenvolvimento de dispositivos complexos, utilizando recursos e metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos. O objetivo foi desenvolver uma forma sistemática de realizar ensaios e testes em um tipo de dispositivo que devido a sua natureza complexa necessita de uma metodologia estruturada e hierarquizada que permita auxiliar na execução e análise de ensaios. Todo dispositivo inovador e complexo deve ser ensaiado e exaustivamente testado, utilizando técnicas metódicas de testes de desenvolvimento em ambiente controlado (DT&E – *Developmental Test and Evaluation*) baseados na técnica de Engenharia de Sistemas & Requisitos conhecida como *Icam DEFinition for Function Modeling* (IDF0).

## PALAVRAS-CHAVE

Ensaios. Testes. Engenharia de Sistemas & Requisitos. Técnica IDF0.

## ABSTRACT

The aim of this paper was to present a testing and testing technique to be applied in complex device development research using systems engineering requirements and methodology. The objective was to develop a systematic way to perform tests and tests on a type of device that due to its complex nature needs a structured and hierarchical methodology that allows to assist in execution and analysis of tests. Every innovative and complex device should be tested and thoroughly tested using methodical Controlled Environment Development (DT&E) testing techniques based on the System Engineering & Requirements technique known as IDF0 (*Icam DEFinition for Function Modeling*).

## KEYWORDS

Tests. Systems Engineering & Requirements. IDF0 Technique.

## RESUMEN

El objetivo de este documento fue presentar una técnica de prueba y prueba para aplicar en la investigación de desarrollo de dispositivos complejos utilizando los requisitos y la metodología de ingeniería de sistemas. El objetivo era desarrollar una forma sistemática de realizar pruebas y pruebas en un tipo de dispositivo que, debido a su naturaleza compleja, necesita una metodología estructurada y jerárquica que permita ayudar en la ejecución y análisis de las pruebas. Todos los dispositivos innovadores y complejos deben probarse y probarse exhaustivamente utilizando técnicas de prueba metódicas de Entorno de Desarrollo Integrado (DT&E *Developmental Test and Evaluation*) basadas en la técnica de Ingeniería de sistemas y requisitos conocida como IDF0 (*Icam DEFinition for Function Modeling*).

## PALABRAS CLAVES

Ensayos. Pruebas. Ingeniería de Sistemas & Requisitos. Técnica IDF0.

## 1 INTRODUÇÃO

Métodos, técnicas e metodologias aplicadas a execução de ensaios (testes) e na realização do planejamento detalhado é algo que vem sendo constantemente aprimorado tanto na área civil, quanto na área militar.

Em sistemas de controle complexos (GOROD *et al.*, 2014; LADYMAN *et al.*, 2013) cuja integração de componentes, e de suas partes, quer sejam constituídas por diversos tipos, modelos e funções interligados, formando um subsistema e a composição de vários subsistemas a um sistema, como no caso de robôs que são dispositivos com muitos sistemas. Máquinas complexas necessitam de uma técnica exaustiva, metódica e hierarquizada que permita realizar todos os testes necessários para seu desenvolvimento tecnológico.

Testes individuais ou de integração geralmente são realizados para que possam minimizar o surgimento de panes ou falhas que envolvam tanto o componente, quanto o próprio sistema de controle (NISE, 2004; KILIAN, 2005) incluindo a programação (firmware).

Existem várias técnicas para realizar ensaios de forma metódica, aqui é apresentada uma dessas técnicas que surge da divisão dos ensaios em três fases distintas que permitem elaborar o planejamento de ensaio em ambiente controlado – *Developmental Test and Evaluation* (DT&E) (STUCKEY, 2007; DEFRANK *et al.*, 2009), mas que podem ser extrapoladas para o planejamento dos ensaios em ambiente operacionais em campo – *Operational Test and Evaluation* (OT&E) (COLOMBI *et al.*, 2008; HABERFELLNER *et al.*, 2019).

A natureza distinta entre DT&E e OT&E, define estágios evolutivos de desenvolvimento de uma máquina. Dentre os diversos tipos de testes necessários em sistemas complexos e/ou com muitos componentes, os primeiros testes a serem realizados são os chamados de ensaios em ambientes controlados (DT&E). Todo tipo de ensaio demanda muita atenção no planejamento e em sua execução.

O DT&E basicamente é realizado em laboratório (MCCARTHY, 2009) cujas análises dos resultados podem necessitar de outros testes ou de ciclos mais longos de testes e que precisam de uma estrutura detalhada em sua condução para alcançar resultados bons de desenvolvimento. Em geral, nessa fase realizam-se testes individuais de componentes e conforme progride o desenvolvimento, componentes ou partes começam a ser integradas formando subsistemas e sistemas (COLOMBI *et al.*, 2008; GOROD *et al.*, 2014).

A finalização em bom termo dos testes e análises em DT&E conduziram a segunda etapa conhecida como teste de campo (OT&E). O OT&D (STREILEIN, 2009) é realizado no ambiente operacional físico real ao qual o equipamento se destina. Estes ensaios geralmente são dispendiosos, complicados e críticos para quase todos os equipamentos utilizados em sua execução, desde os sistemas de coleta de dados aos próprios protótipos em teste. Assim sendo, um bom planejamento é essencial para a realização desse tipo de ensaio em dispositivos simples e mais ainda para os dispositivos complexos.

Este artigo tem como objetivo fornecer uma técnica metódica, sistemática e hierárquica de ensaios e testes, capaz de ajudar em planejamentos e execuções de testes individuais e de integração para sistemas complexos. Qualquer tecnologia nova que faz uso de sistemas eletrônicos de controle precisa de um planejamento robusto, seguindo os métodos de testes de evolução e desenvolvimento em laboratório ou em ambiente controlado (DT&E) baseados nas técnicas de Engenharia de Sistemas & Requisitos – *System Engineer & Requirements* (SE&R) (PRESLEY *et al.*, 1998).

A compreensão da importância dos ensaios e testes, permite alcançar o desenvolvimento com maturidade tecnológica – *Technology Readiness Level* (TRL) o que permite inserções de produtos mais rapidamente no mercado (HABERFELLNER *et al.*, 2019).

Os avanços em ensaios e testes em protótipos (WILTGEN, 2019) ajudam no desenvolvimento consistente de dispositivos complexos para obter versatilidade, autonomia e eficiência, tornando os sistemas mais confiáveis.

## 2 APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ENSAIOS EM SISTEMAS DE CONTROLE DE DISPOSITIVOS COMPLEXOS

Um bom exemplo de sistema de controle complexo e embarcado é o desenvolvimento do colete multisensoriado foco da pesquisa na área de Controle & Automação da pós-graduação na Universidade de Taubaté. Este sistema é baseado na tecnologia vestível e foi projetado para integrar diversos tipos de sensores, assim como, vários tipos de sistemas de comunicação e transmissão de dados com a finalidade de fornecer apoio operacional ao usuário do colete.

O sistema de controle escolhido para operar junto com o protótipo do colete foi a plataforma do tipo Arduino, utilizando dois microcontroladores operando em conjunto (ATmega2560). As funções principais do colete multisensoriado são: coleta e análise preliminar dos parâmetros dos sensores, decisão da informação que deve ser transmitida e/ou informada ao usuário, além do armazenamento de todos os dados na memória física de registro operacional (tipo de “caixa preta”). Na Figura 1 pode ser observado um exemplo de sistema complexo, note a quantidade de dispositivos que integram o colete multisensoriado.

**Figura 1** – Exemplo do sistema de controle complexo que necessita de um planejamento de ensaios (Colete Multisensoriado)



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O sistema lógico de decisão do colete multisensoriado é complexo e envolve o gerenciamento de informações do ambiente, do usuário e de energia. O sistema de controle de forma autônoma pode diminuir o fluxo de amostragens de dados dos sensores, assim como, ligar ou desligar alguns sistemas de comunicação se a energia se tornar escassa. Portanto, sistemas similares a este, para serem eficazes em seu desenvolvimento necessitam de elaborados planos de ensaios.

### 3 METODOLOGIA RELATIVA ÀS FASES DE ENSAIOS E TESTES DE DT&E

Os testes e ensaios em ambiente controlado (DT&E), ou seja, em um laboratório, preveem dois grupos distintos de testes, individuais ou integrados. A mudança de grupo de teste ocorre conforme o estágio de validação e funcionamento em conformidade com os dados de fabricante e com a sequência lógica operacional do algoritmo de controle do dispositivo (RYAN, 2014; NISE, 2004; KILIAN, 2005).

As fases de DT&E sistemáticos são divididas em:

**Fase de Testes Individuais (FTI):** Nesta fase cada componente e/ou partes (cabos e conectores) serão submetidos a testes de conformidade com seus dados de fabricação. Estes dados, dependendo do componente, como ocorre no caso dos sensores, forneceram curvas de funcionamento que se estiverem em conformidade com o fabricante passam a ser parâmetros particulares de teste e validação durante a fase de integração do dispositivo.

Nesta fase todos os componentes recebem um número próprio do projeto, e passam a fazer parte do conteúdo de componentes válidos para ele. Componentes rejeitados, também receberam número e farão parte da estatística de falhas. Entretanto, estes componentes serão destruídos e descartados após serem devidamente documentados;

**Fase de Testes de Integração Progressiva (FTIP):** Consiste em juntar grupos por similaridade cujos testes individuais foram realizados em conformidade com os dados de fabricante e que seus resultados tenham sido considerados satisfatórios, suas características particulares anotadas e documentadas para a realização de ensaios e testes futuros.

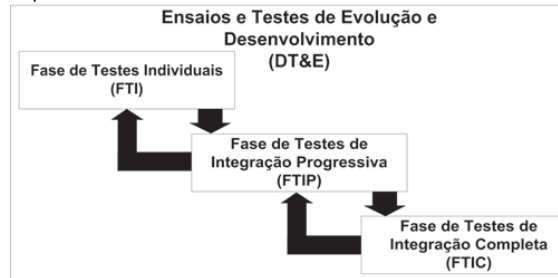
Estes grupos são separados na quantidade que o projeto necessitar, e recebem números complementares, e podem ser desenhados os diagramas similares a metodologia *Icam DEFinition for Function Modeling* (IDFO) de SE&R (PRESLEY *et al.*, 1998; ŠERIFI *et al.*, 2009; TSIRONIS *et al.*, 2008). Cada grupo deverá ser testado em conjunto com a subrotina do *firmware* do sistema de controle correspondente a lógica de controle dos componentes envolvidos.

Por exemplo, sensores de temperatura, sensores de umidade, sensores de pressão, sensores de altitude, se estiverem sendo controlados pela mesma sub-rotina do *firmware* devem ser ensaiados progressivamente, de tal forma que os diferentes tipos de sensores sejam integrados, ou seja, realiza-se o ensaio dos sensores de temperatura em conjunto com os de umidade, depois ambos tipos de sensores com os sensores de pressão e assim progressivamente. Isso é realizado de forma sistemática até obter os resultados satisfatórios de funcionamento operacional;

**Fase de Testes de Integração Completa (Ftic):** Consiste em juntar os grupos de similaridade ensaiados na fase de teste de integração progressiva, numerados e documentados, que possam ser considerados importantes para a lógica do algoritmo de controle. Nesta fase é necessário verificar a consistência dos dados coletados, de tal forma, que os dados de funcionamento permitam realizar a integração completa entre cada grupo de integração progressiva, mantendo a forma sistemática e documentada.

Na Figura 2 é possível se ver a sequência do planejamento de ensaios e testes em ambiente controlado na forma de um diagrama.

**Figura 2** – Diagrama da sequência de Ensaios e Testes em Ambiente Controlado



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

#### 4 ETAPAS DE ENSAIOS E TESTES DT&E APLICANDO A TECNICA EDFO

As etapas dos testes são divididas e executadas sequencialmente se houver apenas uma equipe para realizar os testes. Para ajudar no planejamento devem ser desenhados os diagramas de forma similar ao que ocorre com a metodologia IDFO (PRESLEY *et al.*, 1998; ŠERIFI *et al.*, 2009; TSIRONIS *et al.*, 2008).

A primeira fase FTI prevê testes individuais dos componentes e das partes desta forma, não necessariamente é executada com o algoritmo de controle em *firmware*. Pode e deve ser utilizado um programa simples apenas para a execução do teste de validação de operação dos componentes. Lembrando que o próprio sistema de controle é composto por partes e componentes que também são testados nesta fase.

A sequência de testes **FTI** seguem as seguintes etapas:

- Separação de componentes por tipo, função e documentação do fabricante (*datasheet*);
- Colocação da numeração de cada item e construção da tabela de itens FTI;
- Planejamento da validação do *firmware* de teste para a FTI;
- Testes de funcionamento prévio do controle, portas I/O e lógica computacional;
- Elaboração dos parâmetros mínimo e máximo da execução dos testes dos componentes individuais por tipo e modelo;
- Execução sistemática dos testes com as anotações dos resultados;
- Separação dos componentes validados e dos que falharam;

Arquivamento dos resultados e comparação das curvas de operação.

As etapas dos testes **FTIP** são:

Construção das sub-rotinas do *firmware* principal para realização dos testes de validação;

Separação dos grupos para teste de integração por similaridade de componentes e de utilização de sub-rotinas do *firmware*;

Testes das sub-rotinas do *firmware* com os dispositivos de validação;

Planejamento da integração progressiva de componentes por grupos, via os testes com as sub-rotinas específicas do *firmware* validadas;

Anotações de documentação, seguindo a tabela do planejamento de integração progressiva e comparação com os resultados de FTI;

Em caso de falha os componentes são separados e devem ser realizados novos testes da FTI, comparando os resultados de cada componente para verificar se todos continuam funcionando como testados anteriormente;

Construção do documento que ajudará na rastreabilidade dos componentes e partes para encontrar e solucionar a falha ou discrepância de valores anteriormente medidos;

Com todos os grupos testados e validados pode ser iniciada a integração completa.

As etapas dos testes finais na **FTIC** são:

Construção do *firmware* completo para validação com todas as sub-rotinas juntas;

Integração dos grupos por similaridade e operando dentro das mesmas sub-rotinas do *firmware* completo de controle;

Integração do funcionamento de cada sub-rotina, testando a integração dos grupos da FTIP;

Em caso de falha retornar a fase anterior e realizar os testes novamente;

Quando todos os grupos forem integrados, testados e validados com o *firmware* completo o DT&E é considerado finalizado e os sistemas e subsistemas são considerados validados e estarão prontos para testes de estresses em ambiente controlado e, após esta etapa, para os testes em ambiente operacional ou teste de campo.

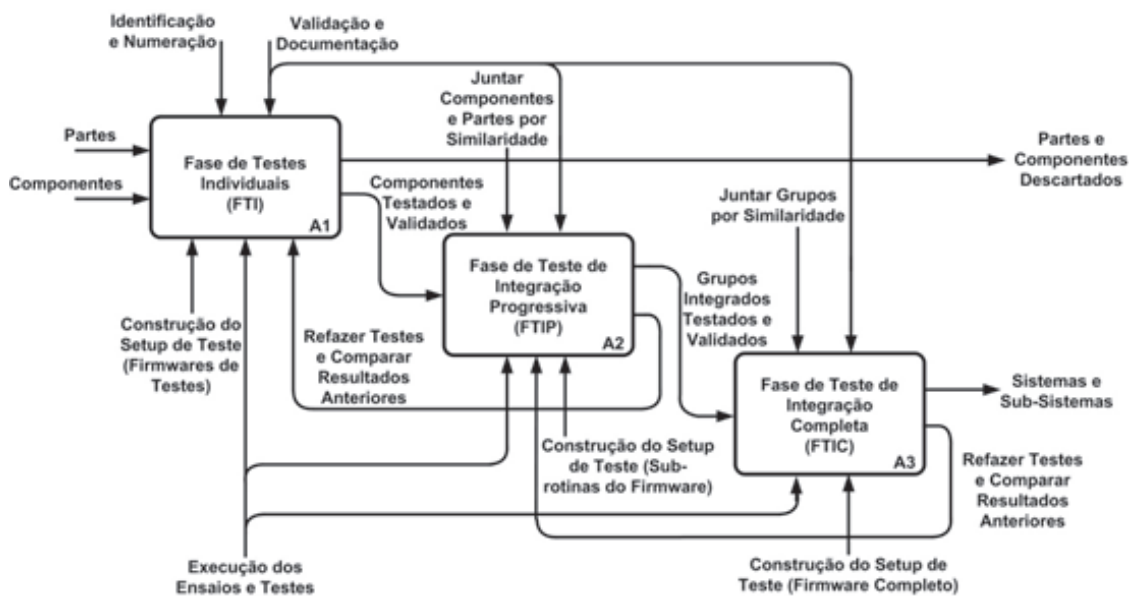
Nas Figuras 3 e 4 podem ser vistos os diagramas IDFO A0 referentes ao planejamento DT&E e os diagramas IDFO A1, A2 e A3, que representam as três fases de realização do planejamento DT&E.

**Figura 3** – Diagrama IDFO A0 sequência de Ensaio e Testes em Ambiente Controlado



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

**Figura 4** – Diagrama IDFO A1, A2 e A3 sequência de Ensaios e Testes em Ambiente Controlado



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

## 5 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Técnicas e metodologias que permitem a execução metódica de ensaios/testes auxiliam no desenvolvimento e amadurecimento de um projeto complexo em engenharia. A realização exaustiva de DT&E com documentação, rastreabilidade e validação no nível de componentes e partes permitem alcançar elevados níveis de maturidade tecnológica (TRL).

Quando um ensaio/teste é bem planejado e realizado em ambiente controlado de laboratório permite que o desenvolvimento avance de forma significativa, levando a inovações tecnológicas. A utilização de técnicas como o IDFO em DT&E permite controlar melhor os prazos e os custos dos projetos práticas importantes e inerentes a boa engenharia.

## REFERÊNCIAS

COLOMBI, J.; COHEE, B. C.; TURNER, C. W. Interoperability test and evaluation: a system of systems field study, crosstalk j. of def. **Soft. Eng.**, v. 21, n. 11, p. 10-14, 2008.



DEFRANK, S. M. JR.; STARR, G. G. Search of a Common Path for Collaborative Testing. **ITEA Journal**, v. 30, p. 84-90, 2009.

GOROD, A.; GANDHI, S. J.; WHITE, B. E.; IRELAND, V.; SAUSER, B. J. Modern history of system of systems, enterprises, and complex systems. *In: book: Case Studies in System of Systems, Enterprise Systems, and Complex Systems Engineering*, July 2014.

HABERFELLNER, R.; WECK, O.; FRICKE, E.; VÖSSNER, S. Systems engineering fundamentals and applications. **Spring**, 2019.

KILIAN, C. **Modern control technology: component and systems**. 3rd ed. Delmar Thompson Learning, 2005.

LADYMAN, J.; LAMBERT, J.; WIESNER, K. What is a complex system? **European Journal for Philosophy of Science**, v. 3, p. 33-67, 2013.

MCCARTHY, W. J. Improving T&E processes for highly complex systems. **ITEA Journal**, v. 30, p. 11-12, 2009.

NISE, N. S. **Control systems engineering**. 4th ed. John Wiley and Sons, Inc., Chichester, 2004.

PRESLEY, A.; LILES, D. H. The Use of IDEF0 for the Design and Specification of Methodologies, 1998.

Ryan, M. J., On the Relationship Between Functions and Measures in System Design. Conference, 7, 2014. **Anais...**, 2014.

ŠERIFI, V.; DAŠIĆ, P.; JEČMENICA, R.; LABOVIĆ, D. Functional and information modeling of production using IDEF methods. **Strojniški Vestnik Journal of Mechanical Engineering**, v. 55, n. 2, p. 131-140, 2009.

STREILEIN, J. J. Test and evaluation of highly complex systems. **ITEA Journal**, v. 30, p. 3-6, 2009.

STUCKEY, R. **OSD DT&E perspective: technology development and maturation**, presented at AFRL technology maturity conference, 2007.

TSIRONIS, L.; GENTSOS, A.; MOUSTAKIS, V. Empowerment the IDEF0 Modeling Language. **International Journal of Business and Management**, v. 3, n. 5, p. 109-118, 2008.

WILTGEN, F. Protótipos e prototipagem rápida aditiva sua importância no auxílio do desenvolvimento científico e tecnológico. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), 10, 2019. **Anais...**, São Carlos-SP, 2019.

---

**Recebido em:** 13 de Outubro de 2019

**Avaliado em:** 17 de Novembro de 2019

**Aceito em:** 19 de Novembro de 2019

---



A autenticidade desse artigo pode ser conferida no site <https://periodicos.set.edu.br>



Este artigo é licenciado na modalidade acesso abertosob a Atribuição-Compartilhaqual CC BY-SA

---

1 Doutor e Mestre em Engenharia Eletrônica e Computação aplicada a Fusão Termonuclear Controlada em Tokamaks – Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA); Engenheiro Eletricista pela Universidade de Taubaté – UNITAU; Professor do Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica e Coordenador da Especialização em Energia Solar Fotovoltaica Aplicada na Universidade de Taubaté – UNITAU.  
E-mail: [lfwbarbosa@gmail.com](mailto:lfwbarbosa@gmail.com)

