



Uma Abordagem de Teste para Verificação e Validação de Software Embarcado em Cubesats

Padilha, J. J.¹, AMBROSIO, A. M.², MATTIELLO-FRANCISCO, M. F.³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Doutorando na PG-ETE e a Área de Concentração em Engenharia e Gerenciamento Espaciais.

²DSE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

³COCRE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

`juliana.padilha@gmail.com`

Resumo. Apesar do grande número de nanosatélites que vêm sendo lançados no espaço ainda não existem normas específicas de engenharia de software para esse tipo de satélites. Software embarcado em Cubesat possui papel chave no controle e operação da missão. Entretanto, as atividades de verificação e validação de projetos de software são onerosas. Testes de software consomem de 30% a 50% do recurso envolvido no desenvolvimento destes software. Essa pesquisa propõe uma abordagem de teste para verificação e validação de software embarcado para nanosatélites utilizando-se de técnicas de redução de esforço de testes, buscando maximizar o reuso. Pretende-se usar o projeto NanosatC-Br2 como caso de estudo para essa pesquisa. Neste artigo são apresentadas as principais ideias que orientaram esta proposta: crescimento do número de nanosatélites, em particular os Cubesats, a falta de padronização dos software, alto custo de realização de teste de software, pesquisa de técnicas de redução do esforço de teste, teste baseado em modelos e a experiência no projeto QSEE com o uso da metodologia CoFi (Conformance and Fault Injection) na aceitação do software embarcado.

Palavras-chave: Testes de software embarcado; Teste baseado em modelos; Nanosatélites; Cubesats; Redução do Esforço de Testes.

1. Introdução

Nanosatélites são voltados para habilitar estudantes a projetar, construir, testar e operar satélites. Com o advento do padrão Cubesat, um tipo de nanosatélite, o ciclo de desenvolvimento desses satélites foi reduzido significativamente. Porém, pouco se fala a respeito de padrões para o desenvolvimento de software embarcado para esses satélites.

Para o desenvolvimento de Cubesats vêm sendo utilizadas as mesmas normas dos satélites tradicionais com algumas adaptações que são definidas pela equipe envolvida e não são



publicadas para a comunidade envolvida no desenvolvimento destes satélites (SCHOLZ, 2017).

Porém, o número destes satélites lançados no espaço vem crescendo rapidamente (SCHOLZ, 2017) e o custo e o tempo de desenvolvimento destes satélites deve ser reduzido com relação aos satélites tradicionais fazendo com que o uso de normas voltadas aos satélites tradicionais seja inviável para seu desenvolvimento. Porém, em contradição a isso, tem-se que a complexidade do software de bordo de nanosatélites vem aumentando significativamente o que traz a necessidade da criação de padrões e normas para o desenvolvimento destes software.

Sabendo-se que testes de software consomem de 30% a 50% dos recursos do projeto de software, pode-se afirmar que é necessário um bom planejamento para que os testes possam ser executados antes da entrega do produto (KASSAB, M. et. al, 2016).

Neste cenário em que os software de bordo estão cada vez mais complexos um dos grandes desafios de Verificação e Validação (V&V) de software é reduzir o esforço de testes, o que para essa pesquisa, significa reduzir o esforço relacionado com todas as atividades de teste: planejamento, construção dos casos de teste, execução dos casos de teste.

Em particular, no projeto de missões de nanosatélites que utilizam o padrão Cubesat, o computador de bordo da plataforma é elemento chave. Cabe a ele realizar as funções de gestão da plataforma do satélite, das cargas úteis e gestão dos dados da missão. O software denominado *OnBoard Data Handling* (OBDH) é o responsável por executar tais funções e sua complexidade depende da missão. O software embarcado OBDH é um exemplo de software de bordo alvo do presente estudo que não está limitado ao software embarcado no computador de bordo da plataforma do nanosatélite, mas que pode se aplicar a outros software embarcados inclusive nos subsistemas que constituem as cargas úteis da missão. Por essa razão, utiliza-se nesse trabalho o termo software de bordo de forma genérica.

Com a intenção de selecionar técnicas de testes para compor uma abordagem de teste para V&V de software embarcado em Cubesats que reduza o esforço de V&V foi realizada uma pesquisa sobre o tema de redução de esforço de testes. Como resultado dessa pesquisa a abordagem de testes baseados em modelos, a de sistematização (ou também chamada estratégias de testes) e a de automação se destacaram como abordagens de redução de esforço de testes utilizadas nas últimas décadas.

Além disso, o artigo *Designing fault injection experiments using state-based model to test a space software* (AMBROSIO et al., 2007) mostra que abordagens de testes baseados em modelos são promissoras quando aplicadas a testes de software em aplicações espaciais. Neste trabalho modelos de estados mapeiam o comportamento do software de acordo com serviços caracterizados na norma conhecida como PUS (*Packet Utilization Standard*), e chamada *Space Engineering - Telemetry and telecommand packet utilization* (EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, 2016).

Além disso, outros artigos, como AMBROSIO, A. M.; MARTINS, E. (2006) e GREGHI, J. et al. (2018), mostram soluções de representação de tais serviços em modelos de estados.

Seguindo a mesma ideia de organização do software de bordo em serviços, no Projeto Qualidade de Software Embarcado em Aplicações Espaciais (QSEE), um software de



pequeno porte foi mapeado em serviços e modelos de estados visando a geração do teste de aceitação de software. Esses serviços foram identificados e mapeados a um subconjunto dos serviços de software OBDH de um satélite listados na norma PUS. Além disso, esse projeto utilizou a metodologia de testes baseados em modelos chamada *Conformance and Falut Injection* (CoFI) e obteve resultados promissores.(AMBROSIO, 2005)

Estes aspectos inspiram a exploração de uma abordagem de teste que inclua mapeamento de serviços de um software de bordo de um Cubesat, os quais são um subconjunto do PUS, em modelos de estados e que possibilite o reuso destes modelos entre Cubesats. Isso nos guiou a uma proposição de uma abordagem de teste para V&V de software embarcado em Cubesats.

2. Metodologia

A abordagem de teste para V&V de software embarcada em Cubesats proposta neste artigo deve ser baseada em redução de esforço de teste utilizando-se das abordagens de testes baseados em modelos, automação e sistematização de testes e deverá buscar o reuso dos modelos de serviços criados durante as atividades de testes. Além disso, essa abordagem deverá ter como consequência do uso de modelos de serviços a redução das atividades e artefatos associados às revisões do processo de V&V de software embarcado em Cubesats.

Para a definição dessa abordagem serão levados em conta os artefatos de projeto de software embarcado e as revisões de nanosatélites, especialmente Cubesats, a serem estudados. Entre esses projetos serão levados em consideração alguns projetos em que o INPE tenha participação e outros.

Os modelos de estados dos serviços, os serviços, a metodologia CoFI, os artefatos das revisões do processo de V&V de software embarcado e outros artefatos do projeto QSEE serão levados em conta, principalmente com respeito a possibilidade de reuso de modelos de estados dos serviços. Também será levado em consideração a aplicação da metodologia CoFI para a geração desses modelos de estados dos serviços como provável metodologia na aplicação da abordagem de testes baseados em modelos para a definição da nossa abordagem.

Até o momento não foram encontradas normas para nanosatélites, apenas um handbook para Cubesats o qual guia o uso de algumas normas de satélites tradicionais da ECSS e outras. Assim, pretende-se buscar por possíveis normas e aplicar na definição da abordagem proposta as normas de satélites tradicionais da ECSS com algumas adaptações conforme sugerido pelo handbook.

O tempo de desenvolvimento de nanosatélites deve ser reduzido com relação ao tempo de desenvolvimento de satélites tradicionais, por isso é necessário reduzir o máximo possível de atividades realizadas para o desenvolvimento desses projetos. Assim, além das adaptações realizadas nas normas da ECSS para as atividades de testes para V&V de software embarcado de satélites tradicionais para serem utilizadas para nanosatélites, foi realizada uma pesquisa sobre uma forma de reduzir esforço de testes visando essa redução do tempo total do desenvolvimento do software embarcado.



Como resultado dessa busca foram definidas três abordagens de redução de esforço de testes que deverão ser combinadas para formar a nova abordagem, elas são: testes baseados em modelos, sistematização e automação.

A CoFI (AMBROSIO, A. M., et. al, 2007) é uma opção para uma abordagem de testes baseados em modelos que permite o reuso desses modelos. Além disso, ela orienta o trabalho de criação de modelos com base nos serviços de um software de bordo e com a criação desses serviços ela permite a descrição formal dos testes reduzindo a ambiguidade com relação a descrição textual.

A descrição formal dos serviços garante (AMBROSIO, A. M.; MARTINS, E, 2006):

- Maior precisão na definição do escopo dos serviços e das interfaces;
- Uma melhora na identificação de características de comunicação do software de bordo com os demais equipamentos;
- Um melhor entendimento dos requisitos funcionais e operacionais.

Com base nessas afirmações é possível dizer que, com a redução do esforço de teste a partir da abordagem de testes baseados em modelos e com foco em reuso de modelos, alguns artefatos poderão ser produzidos utilizando as informações dos modelos existentes e poderão ser reutilizados em projetos de Cubesats futuros gerando uma redução no número de artefatos conforme será demonstrado de maneira simplificada a seguir.

A partir de uma visão superficial das atividades de redução de esforço de testes temos que:

1. É possível obter reuso dos serviços de software de bordo de diferentes nanosatélites;
2. Os serviços podem ser representados através de modelos;
3. Por (1) e (2) tem-se que é possível o reuso dos modelos que representam o comportamento do software;
4. A partir dos modelos é possível gerar casos de testes automaticamente;
5. Por (3) e (4) tem-se que é possível o reuso de casos de testes.

Com relação ao ciclo de vida e aos artefatos gerados durante o desenvolvimento do software de bordo de um nanosatélite, considerando a Figura 1, ainda podemos afirmar que:

- O artefato de Especificação Técnica, que descreve o software de bordo, pode ser escrito através modelos que representam os serviços, sendo assim é possível apostar na reutilização, não apenas dos modelos, mas também dos artefatos;
- Considerando as similaridades dos serviços de software de nanosatélites, e a possibilidade de um template para descrever o software de bordo, tem-se o reuso do artefato Especificação Técnica de um nanosatélite para outro;
- Se a Especificação Técnica do software de bordo de um nanosatélite já foi validada, e há indícios das semelhanças entre os software de bordo de ambos, ela pode ser reutilizada sem causar perdas em outros nanosatélites.



Pretende-se explorar essa lógica de reutilização de artefatos, serviços e modelos, tanto quanto possível, aos demais artefatos produzidos ou consumidos pelas revisões com o objetivo de reduzir esses artefatos.

Finalmente a abordagem de testes para V&V de software embarcado para Cubesats proposta deverá ser validada pela comparação de resultados da aplicação desta abordagem em projetos de nanosatélites disponibilizados para esse fim, entre eles está o NanosatC-Br2, com o resultado das abordagens adotadas pelas equipes desses projetos. Com essas comparações será possível mostrar a diferença de tempo de execução das atividades de testes, de números de artefatos e outros dados dos projetos.

A Figura 1 resume essa metodologia adotada para o desenvolvimento da abordagem proposta. Ela mostra as entradas para o estudo: 1) artefatos de projeto de software embarcado e revisões dos programas de nanosatélites a serem estudados; 2) os artefatos de projeto de software embarcado e revisões realizadas no projeto QSEE; 3) possíveis normas de nanosatélites existentes para Cubesat; e 4) técnicas de redução de esforço de testes. E, além disso, ela ilustra as experiências o desenvolvimento de software embarcado para as missões NanosatC-Br2 e outros projetos de nanosatélites que serão utilizados na validação da abordagem proposta.

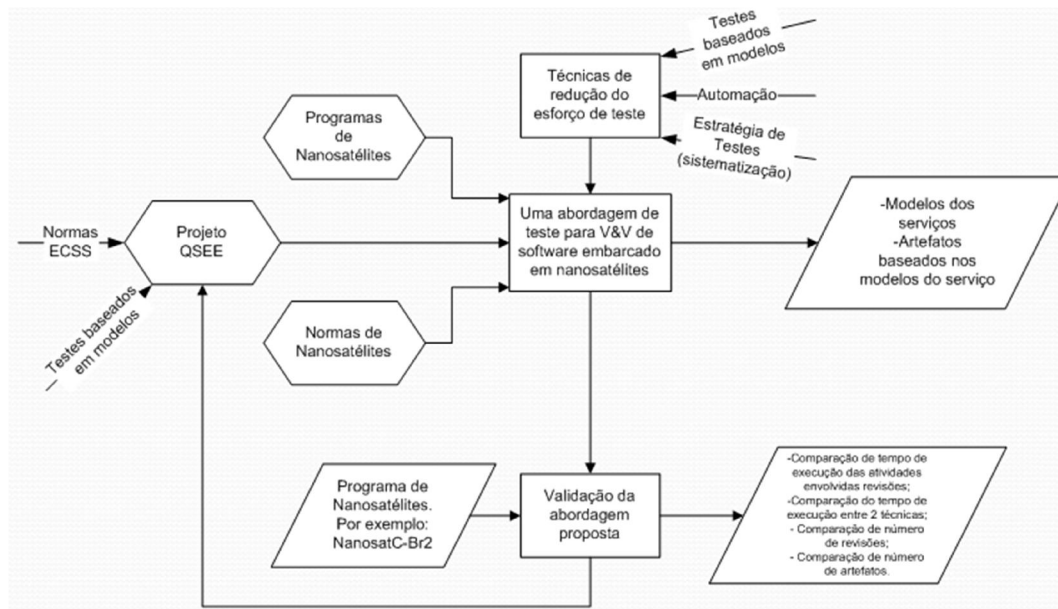


Figura 1. Metodologia da Pesquisa.

3. Discussão dos tópicos que orientaram a pesquisa

Ausência de padronização de software para Cubesat, considerando a necessidade de baixo custo:

O crescimento do número de nanosatélites, em especial Cubesats, lançados no espaço e o aumento da complexidade dos software embarcados nestes satélites trouxe consigo a necessidade de padronização do desenvolvimento destes software. Como pouco se fala a



respeito do desenvolvimento desses software esse artigo propõe uma pesquisa em busca de uma padronização no desenvolvimento desses software.

Necessidade de redução do custo de teste e garantia da entrega de um software que funcione:

Como sabemos que o tempo de realização atividades de testes consomem grande parte do desenvolvimento de software, acreditamos que reduzindo as atividades de testes desses software estamos contribuindo para a redução das atividades de V&V e consequentemente reduzindo os custos do desenvolvimento como um todo. Entre as abordagens de redução de esforço de testes escolhidas para compor essa nova abordagem tem-se a testes baseados em modelos.

Entre outros motivos da escolha da abordagem de testes baseados em modelos, tem se a possibilidade de modelar os serviços de um software de bordo e reutilizá-los de satélite para satélite. Além disso, se os serviços podem ser modelados pode-se inferir que os modelos também poderão ser reutilizados entre satélites ajudando na redução de atividades e artefatos das revisões de projeto envolvidas no processo de V&V de software embarcado.

Testes baseados em modelos como uma abordagem alternativa:

O projeto QSEE realizou o mapeamento dos serviços do software SWPDC em modelos de estados utilizando-se da metodologia CoFI, que é uma abordagem de testes baseados em modelos. Os serviços desse software foram identificados como sendo um subconjunto dos serviços da norma PUS. Essa característica e devido aos resultados promissores do projeto QSEE nos levou a acreditar que a metodologia CoFI possa ser aplicada para a abordagem proposta.

Como resultados esperados dessa pesquisa tem-se, primeiramente, a abordagem de teste para V&V de software embarcado em Cubesats baseada em redução do esforço de testes através da abordagem de testes baseados em modelos combinada com automação e sistematização.

Outro resultado importante que deverá ser alcançado é mostrar que essa abordagem proporciona a possibilidade do reuso dos modelos de serviços gerados durante as atividades de testes de software para software de outros nanosatélites.

Ainda como resultado da abordagem a ser proposta tem-se outro objetivo que é a possibilidade de reuso de artefatos que serão afetados pelos modelos de serviços gerados durante as atividades de teste.

4. Conclusão

Ao propormos uma abordagem de teste para V&V de software embarcado em Cubesats estamos buscando suprir a necessidade de documentação que guie o desenvolvimento de software para esses nanosatélites. Além disso, o uso de testes baseados em modelos para reduzir o esforço de testes supre a proposta dessa abordagem com relação a busca pelo reuso de modelos de serviços entre os nanosatélites reduzindo as atividades de testes e proporciona a possibilidade de uso destes modelos na confecção de alguns artefatos do ciclo de vida do desenvolvimento de software envolvidos nas atividades de testes.



Agradecimentos: Agradeço à agência financiadora deste projeto CAPES (bolsa de doutorado).

Referências

- Ambrosio, A. M. (2005) “COFI: uma abordagem combinando teste de conformidade e injeção de falhas para validação de software em aplicações espaciais”, 209 p. IBI: <6qtX3pFwXQZGivnJSY/HodCw>. (INPE-13264-TDI/1031) 209 p. IBI: <6qtX3pFwXQZGivnJSY/HodCw>. (INPE-13264-TDI/1031). Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/6qtX3pFwXQZGivnJSY/HodCw>>.
- Ambrosio, A. M.; Martins, E.; Vijaykumar, N.L.; De Carvalho, S.V. (2006) “A Conformance Testing Process for Space Applications Software Services”, Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication (JACIC). American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). aceito em Janeiro de 2006. A ser publicado.
- Ambrosio, A. M.; Martins, E. (2006) “Space services: textual to formal description”, In: International Conference On Space Operations Will Be Hosted By The, 9th., Rome, Italy. Proceedings.. p. 11. CD-ROM. (INPE-14069-PRE/9238).
- Ambrosio, A. M.; Mattiello-Francisco, F.; Santiago Júnior, V. A.; Martins, E. (2007) “Designing fault injection experiments using state-based model to test a space software”, In: LATIN-AMERICAN SYMPOSIUM ON DEPENDABLE COMPUTING (LADC). , 3., 2007, Morelia, México. Proceedings... Berlin: Springer, 2007. p. 170-178. (INPE-15078-PRE/9987).
- European Cooperation For Space Standardization (ECSS) (2016) “ECSS-E-ST-70-41C: Telemetry and telecommand packet utilization”. 656p.
- Greggi, J. G.; Martins E.; Carvalho, A. M. B. R., Ambrosio, A. M.; Villani, E.. (2018) “From Natural Language Standard Documents to State Machines: Advantages and Drawbacks”, Journal of Aerospace Information Systems. Vol. 15, No. 5, pp. 271-281.<https://doi.org/10.2514/1.I010525>
- Kassab, M.; DeFranco J.; Laplante, P. (2016) “Software Testing Practices in Industry: The State of the Practice”, In: IEEE SOFTWARE. p. 1. doi: 10.1109/MS.2016.87
- Scholz, A. (2017) “CubeSat standards handbook”. The LibreCube Initiative.