

CONTROLE DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO NA ÁREA ESPACIAL

Suely Mitsuko Hirakawa Gondo¹, Leonel Fernando Perondi²

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
S J Campos – SP, Brasil

suely@dss.inpe.br¹, perondi@las.inpe.br²

Resumo: Este artigo tem dois objetivos: a) apresentar, detalhadamente, os conceitos de processo, verificação de processo e controle de processo, no âmbito da área de manufatura em projetos na área espacial, segundo o Padrão ECSS, e b) comparar brevemente a metodologia empregada pelo INPE na área de processos com a preconizada pelo referido padrão.

Palavras-chave: Processo, controle, verificação, área espacial

1. INTRODUÇÃO

Sistemas produtivos modernos estão organizados na forma de conjuntos de processos de diferentes naturezas, tais como fluxo de material, fluxo de trabalho, mudança de estado, entre outras. Em termos de grandes categorias ou famílias, podem ser distinguidos, entre outros, os processos de administração geral, que se relacionam às atividades de gestão de uma organização, os processos comerciais, que se relacionam às atividades de vendas e marketing em uma organização, os processos técnicos, de fabricação ou de manufatura, que se relacionam às atividades técnicas de produção em uma organização, e assim por diante (OLIVEIRA, 2006a).

Há vários pontos de vista para a definição de um *processo*:

- qualquer atividade ou conjunto de atividades que toma um “*input*”, adiciona valor a ele e fornece um “*output*” a um cliente específico (GONÇALVES, 2000);
- uma estrutura para a ação, ou seja, uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço, com um começo, um fim, e entradas e saídas claramente identificadas (DAVENPORT, 1998);
- conjunto de ações ordenadas e integradas para um fim produtivo específico, ao final do qual são gerados produtos e/ou serviços e/ou informações. (OLIVEIRA, 2006b);
- quaisquer atividades que recebam entradas (“*inputs*”) e as transformem em saídas (“*outputs*”) podem ser consideradas como um processo (CARPINETTI, 2009).

Assim, todo produto pode ser visto como o resultado de um ou mais processos. Abaixo, seguem alguns exemplos de processos e seus fornecedores:

- reserva de hospedagem – hotéis;
- forjamento de metais – indústria metalúrgica;
- aulas para crianças – escolas;
- criação de software – empresas de desenvolvimento de software;
- análises clínicas – laboratórios clínicos;
- auditorias internas – grupo auditor.

A sistematização do trabalho em conjuntos de atividades recorrentes, ou processos em seu entendimento moderno, tem sua gênese nas grandes transformações que ocorreram na organização do trabalho, decorrentes da Revolução Industrial, na segunda metade do Século XIX. O esforço para a produção de artigos em massa levou a novos paradigmas, tais como a fabricação de peças intercambiáveis, a padronização de máquinas, o planejamento detalhado das operações de trabalho,

o planejamento e controle da produção, a cronometragem e estudo de tempos e movimentos, entre outros (CHIAVENATO, 2009; PAIM *et al.*, 2009), que contribuíram para a moderna visão de uma organização produtiva, calcada nos conceitos de *sistema*, *processo* e *qualidade* (DE SORDI, 2008). Esta moderna visão de organização produtiva, juntamente com os avanços tecnológicos em materiais e máquinas-ferramentas, têm permitido a fabricação, repetitiva e com baixas taxas de falhas, de produtos com complexidade extraordinária, e sempre crescente.

Na área espacial, devido aos requisitos excepcionais de confiabilidade e à grande complexidade dos produtos, os conceitos de *sistema* e *processo* encontram-se no cerne do projeto e da fabricação dos sistemas espaciais.

Este artigo objetiva apresentar os conceitos de *processo*, *verificação de processo*¹ e *controle de processo* no âmbito da área de manufatura em projetos na área espacial, bem como descrever os procedimentos associados às atividades de *Controle de Processos* segundo o Padrão ECSS² e, após, comparar brevemente a metodologia empregada pelo INPE para o tratamento de processos com a preconizada pelo referido padrão.

O artigo está organizado na seguinte forma. Na Seção 2, é descrita, brevemente, a filosofia geral do ciclo de vida de projetos na área espacial, com foco na importância dos processos técnicos para a implementação desta filosofia. Na Seção 3, são apresentadas as definições de *processo* e de *processo verificado*. A Seção 4 trata dos procedimentos relativos ao controle de processos conforme o padrão ECSS, enquanto que a Seção 5 descreve a metodologia empregada pelo INPE na implementação das atividades de *controle de processos*, particularmente no programa CBERS, e compara-a com a do padrão ECSS. Finalmente, a Seção 6 apresenta as conclusões.

2. PROCESSOS E O CICLO DE VIDA DE PROJETOS NA ÁREA ESPACIAL

Enquanto que em projetos comerciais de produtos com aplicação não crítica há, normalmente, grande ênfase no controle das variáveis custo e tempo, na área espacial a ênfase principal se encontra no controle da variável qualidade, que determina, fundamentalmente, a confiabilidade do produto final. A ênfase na variável qualidade advém do fato de que em sistemas espaciais, dada a especificidade de suas aplicações, uma única falha pode, em muitas situações, determinar o fracasso completo de uma missão. Assim, é natural se esperar que a definição do ciclo de vida de um projeto na área espacial esteja centrada na confiabilidade do produto final.

O ciclo de vida de projetos na área espacial está organizado em fases seqüenciais, separadas por reuniões formais de revisão que aprovam ou não a passagem do projeto para a fase seguinte. Com a filosofia de maximizar a confiabilidade do produto final, a verificação tanto do projeto quanto da fabricação dos equipamentos de vôo é efetuada via modelos. Projetos usuais, que não sejam a repetição completa de um projeto anterior, contemplam, minimamente, os seguintes modelos: Modelo de Engenharia (EM), Modelo de Qualificação (QM) e Modelo de Vôo (FM). Dependendo de particularidades do projeto, estes modelos são desenvolvidos para equipamentos, subsistemas e, somente em situações muito especiais, para o sistema como um todo.

O modelo de engenharia é representativo do modelo de vôo quanto à funcionalidade e desempenho, mas sem redundâncias e partes de alta confiabilidade. O modelo de engenharia é utilizado para a qualificação funcional do projeto do produto, exceto no que tange às verificações de redundância, demonstração de tolerância a falhas e checagem da “*deriva*” de parâmetros. O modelo de engenharia é também utilizado para a validação final de facilidades de teste e do GSE, bem como

¹ Conforme a moderna terminologia adotada pelo padrão ECSS, processos aptos para implementação na fabricação de equipamento de vôo são ditos *verificados* ao invés de *qualificados*, como na terminologia anteriormente adotada. Ainda, conforme a nova terminologia, materiais aptos para vôo são ditos *validados* enquanto que partes aptas para vôo são ditas *qualificadas*.

² ECSS – European Cooperation for Space Standardization

de processos correlatos (ECSS, 1998). O Modelo de Engenharia é fabricado a partir de partes e materiais funcionalmente equivalentes àqueles qualificados para aplicação espacial.

O modelo de qualificação reproduz fielmente o projeto do produto final, em todos os seus aspectos. O modelo de qualificação é utilizado para a qualificação funcional e ambiental do projeto do produto. Modelos de qualificação são requeridos para equipamentos e subsistemas de novos produtos, ou de produtos já existentes que tiveram alterações em seu projeto (ECSS, 1998). O Modelo de Qualificação é fabricado exclusivamente a partir de processos *verificados* e de partes e materiais com qualificação espacial.

Um processo é considerado *verificado* quando a sua execução, independentemente da necessidade ou não de interveniência direta de mão-de-obra, produz sempre o mesmo resultado, resultado este que atende a requisitos pré-estabelecidos, advindos tanto de normas para a área espacial quanto do projeto em que será utilizado.

O Modelo de Qualificação é testado tanto no que se refere a requisitos de desempenho quanto a requisitos ambientais. Os testes ambientais procuram simular as condições de operação do equipamento de vôo, considerando as condições de pior caso, com margem, tanto no que se refere às variáveis ambientais – níveis de vibração, limites de temperatura e níveis de vácuo – quanto ao tempo previsto de operação em órbita. A origem de toda não-conformidade detectada nos testes é rastreada a processos, partes ou materiais. Toda não-conformidade é tratada e o Modelo de Qualificação atualizado, correspondentemente. Uma vez cumpridos todos os requisitos, considera-se a linha de base corrente (linha de base “*as-built*” do MQ) qualificada para vôo.

O Modelo de Vôo é, então, fabricado a partir de versões consolidadas tanto dos processos quanto das listas de partes e materiais, através de mão-de-obra certificada. Os modelos de vôo assim fabricados são considerados como qualificados por similaridade. Modelos de vôo são submetidos a testes funcionais e a testes ambientais em nível de aceitação.

Concluindo, de forma sintética, temos que:

- o Modelo de Engenharia deve ser completo e representativo quanto à funcionalidade e desempenho;
- o Modelo de Qualificação deve ser completo e representativo para demonstrar que o projeto e a fabricação propostos atendem com margem suficiente todas as especificações para as condições ambientais previstas para a missão;
- o Modelo de Vôo deve ser fabricado utilizando exatamente os mesmos processos, ferramental e seqüência de operações utilizados na fabricação dos Modelos de Qualificação.

A partir desta breve introdução ao ciclo de vida de projetos na área espacial, fica clara a importância que os processos técnicos têm na fabricação de equipamentos de uso espacial. Em particular, observamos que a filosofia de fabricação do Modelo de Vôo exige que os processos técnicos utilizados na manufatura deste modelo sejam idênticos aos utilizados para a produção do Modelo de Qualificação. Para isso, são necessárias as atividades de verificação e controle de processos, objeto das seções seguintes.

3. PROCESSOS E SUA VERIFICAÇÃO SEGUNDO O PADRÃO ECSS

Para a área espacial, podemos propor a seguinte classificação dos processos:

- *processos técnicos ou de fabricação* – são aqueles que afetam diretamente a fabricação dos veículos espaciais, ou seja, que fazem parte das atividades de manufatura dos equipamentos em si e de suas partes; por exemplo: pintura de uma antena, soldagem de componentes eletrônicos em uma placa de circuito impresso, e outros;
- *processos de apoio* – são os que colaboram com os processos primários na busca de sucesso do produto final; por exemplo: processos da qualidade, compra de componentes eletrônicos, e outros;

- *processos gerenciais* – dão suporte à coordenação das atividades dos processos de apoio e técnicos; controle de cronograma; revisões técnicas, e outros.

Todos estes tipos de processos são muito importantes para que se atinjam os objetivos dos programas espaciais. Neste artigo, porém, serão enfocados somente os processos técnicos. Dentre os processos técnicos, há duas categorias de processos que são especialmente controladas: os *processos críticos* e os *processos especiais*. *Processo crítico* é definido como aquele que se enquadra em pelo menos uma das seguintes situações (ECSS, 2009a):

- não tenha sido implementado anteriormente pelo fabricante, ou
- não tenha sido verificado para a aplicação pretendida, ou, ainda,
- que tenha causado problemas em aplicação anterior sem que uma solução tenha sido alcançada.

Todo processo classificado como crítico passará por um *programa de verificação*, cuja descrição é dada ao final desta seção. Todo processo crítico integrará a *lista de itens críticos*³ e estará sujeito ao controle de configuração do projeto. *Processo especial* é definido como aquele cuja conformidade do produto resultante não pode ser prontamente ou economicamente verificada (ECSS, 2004). Tanto os *processos críticos* quanto os *processos especiais* são controlados pela atividade de *controle de processos*, descrita na próxima seção.

Todo *processo verificado* deve atender os requisitos de verificação descritos abaixo, e seu produto deve atender todos os requisitos do projeto. Tais demonstrações de atendimento de requisitos ocorrem, quando aplicável, através da realização de ensaios normalizados. A realização do processo e o seu controle se dão em conformidade com procedimentos devidamente documentados. Esta documentação contém detalhes suficientes para garantir uma base de fabricação controlada, o que, por sua vez, garante que os itens de produção posterior são equivalentes, em desempenho, qualidade, dimensões e confiabilidade, aos itens de teste, produzidos na verificação.

Conforme o padrão ECSS, todo processo utilizado em um projeto deve passar por uma *análise de criticidade*, que classifica o processo como *crítico*, *especial* ou *comum*. Todo processo crítico é submetido a um *programa de verificação*. Para processos críticos que sejam novos ou que sejam derivados de processos já implementados, mas com mudanças substanciais, e dependendo da análise de criticidade, poderá ser requerida do fornecedor a realização de um *programa de avaliação*, antes da realização do *programa de verificação*. O *programa de avaliação* de processos críticos será realizado atendendo as seguintes diretivas:

- a. o *programa de avaliação* deverá considerar, minimamente, os seguintes aspectos (ECSS, 2009b):
 1. os limites de uso do processo;
 2. os valores de parâmetros relevantes e suas tolerâncias, determinados através de amostras de teste ou amostras tecnológicas (advindas de novos desenvolvimentos);
 3. definição de critérios para aceitação do processo; e
 4. os resultados do programa de avaliação serão consolidados em um *Relatório de Avaliação*.
- b. quando uma avaliação for requerida, o fornecedor deverá prover planos e relatórios como segue:
 1. o plano de avaliação deverá estar disponibilizado até a reunião de revisão PDR;
 2. o Relatório de Avaliação deverá estar disponibilizado até a reunião de revisão CDR.

³ Itens críticos são elementos físicos (partes, materiais, e outros) ou não-físicos (processos, testes e outros) que apresentam riscos potenciais ao desempenho, qualidade, *dependabilidade* e segurança em um projeto. São controlados via um plano de ação específico, de modo a mitigar riscos e prevenir consequências indesejáveis (ver, e.g., ECSS-Q-ST-10-04C, 2008).

O *programa de verificação* de processos críticos atenderá os seguintes requisitos (ECSS, 2009b):

- a. todo processo crítico deverá passar por um programa de verificação implementado pelo fornecedor;
- b. o programa de verificação deverá ser planejado com antecedência, conforme padrões de verificação estabelecidos pelo padrão ECSS ou o de agências nacionais de normalização; os resultados do programa de verificação serão consolidados em um *Relatório de Verificação*;
- c. o fornecedor deverá demonstrar que o processo satisfaz os requisitos de missão, e que os requisitos advindos do projeto do produto, aplicáveis ao processo, estão suficientemente definidos para que possam ser verificados;
- d. o *status de verificação* de um processo dependerá da análise dos resultados constantes do Relatório de Verificação e da revisão de documentação associada; por ocasião da reunião de revisão CDR, todo processo crítico deverá ter o seu status de qualificação definido.

A aprovação final de todos os processos críticos é dada pelo cliente. Os passos para aprovação de um processo crítico estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1– Passos para a aprovação de processos críticos (ECSS, 2009c)

Passo	Fase	Observações
1	Análise crítica	
2	Avaliação, quando requerida (usualmente, por métodos de teste definidos em padrões ECSS).	Processos críticos são avaliados testando “amostras tecnológicas”; incluem processos, tais como, processos de interconexão elétrica, processos de pintura, processos de colagem, entre outros.
3	Verificação, obrigatória para todo processo crítico.	Testes de verificação definidos em padrões ECSS.
4	Aprovação, obrigatória para todo processo crítico.	Através de Solicitação de Aprovação (“ <i>Request for Approval</i> ” – RFA), ou através da Lista de Processos.

Caso um processo falhe em receber aprovação, as possíveis alternativas para o fornecedor serão:

- a. selecionar outro processo, ou
- b. propor uma novo programa de avaliação e re-submeter um pedido de aprovação, ou
- c. no evento nenhuma das duas possibilidades acima ser positiva, iniciar uma *solicitação de desvio*.

Processos, cuja conformidade com os requisitos do projeto não for demonstrada, tanto na análise de criticidade, quanto ao final dos testes de *avaliação* e *verificação*, poderão ser alvo de uma *solicitação de desvio*, em conformidade com o padrão ECSS-Q-ST-10-09, “*Nonconformance control system*” (ECSS, 2008a).

A Tabela 2 apresenta os possíveis estados de aprovação de processos.

Tabela 2 – Estados de aprovação de processos (ECSS, 2009d)

Código	Descrição
A	Aprovado. Todos processos com esta classificação podem ser utilizados no projeto sem restrições.
X	Aprovado via RFA. Estes processos forma submetidos a programas de avaliação e verificação. O número da RFA deve ser especificado na Lista de Processos.
W	Aprovado com concessão. Estes processos não atendem a todos os requisitos do projeto, mas são utilizados por razões especiais. Como diretriz, seu uso deve ser reduzido ao mínimo possível. Todas as <i>solicitações de desvios</i> , autorizando o uso destes processos devem ser aprovadas pelo cliente. O número da concessão deve ser especificado na Lista de Processos.
P	Pendente de uma decisão. Processos para os quais um relatório de verificação ou um pedido de desvio encontra-se sob avaliação do cliente.
O	Aberto. Novos processos, para os quais investigações, avaliações e verificações encontram-se em andamento.
R	Rejeitado.
D	Descartado. Esta classificação aplica-se a processos aprovados no passado, mas que não mais se encontram em uso.

4. CONTROLE DE PROCESSOS SEGUNDO O PADRÃO ECSS

O controle de processos é o conjunto de atividades implementadas para garantir que todo processo técnico:

- a. esteja apto para ser utilizado no Modelo de Vôo;
- b. seja documentado e repetitivo;
- c. gere produtos que atendam os requisitos de projeto, e
- d. que tenham as modificações necessárias sempre formalizadas.

A seguir, são descritos os requisitos e as atividades de *controle de processos*, como especificados pelo Padrão ECSS-Q-ST-70C, “*Space product assurance. Materials, mechanical parts and processes*” (ECSS, 2009).

Em termos de requisitos gerais, o padrão prescreve que todo projeto tenha um plano de Materiais, Partes e Processos (MPP), que será parte integrante de seu Plano de Garantia do Produto, e que será submetido ao cliente para aprovação. O plano de MPP descreverá todas as atividades ao longo das diversas fases do projeto (ECSS, 2009e).

Todos os processos utilizados no projeto deverão ser relacionados em uma *Lista de Processos* (“*Declared Process List*”), a ser atualizada em cada fase do ciclo de vida do projeto, conforme os seguintes requisitos gerais (ECSS, 2009f):

- a. cada fornecedor ou sub-fornecedor deverá estabelecer, revisar e distribuir uma lista de processos, contendo todos os processos a serem utilizados para a fabricação do modelo de vôo;
- b. a lista deverá refletir a configuração linha de base corrente quando de sua distribuição.
- c. a lista conterá a relação de processos para a *linha de base* corrente, contendo informações suficientes para:
 1. demonstrar atendimento de todos os requisitos do projeto;
 2. controlar e monitorar o status de processos em acordo com marcos do projeto.
- d. a lista de processos será composta obedecendo as seguintes diretivas:
 1. máximo uso de processos utilizados em projetos similares ou constantes de fontes aprovadas ou indicadas pelo projeto;
 2. máximo uso de processos constantes de eventuais listas de processos preferidos, definidas pela organização do projeto.
- e. os requisitos para os processos devem ser definidos a partir das especificações técnicas do projeto;
- f. a análise de criticidade da *lista de processos preliminar* (distribuída na Fase B) deverá, após a demonstração de que cada processo atende os requisitos do projeto, permitir a classificação dos processos em três categorias:
 1. processos críticos, sujeitos a programas de verificação;
 2. processos não-críticos, mas que não atendam a um ou mais requisitos de projeto, para os quais deverá ser emitida uma solicitação de desvio;
 3. processos não-críticos.
- g. para todos os processos críticos deverá ser emitida uma solicitação de aprovação.

A *Lista de Processos* será gerida segundo os seguintes requisitos:

- a. o fornecedor documentará todos os processos em acordo com o especificado pelo cliente;
- b. o fornecedor deverá processar as listas de seus sub-contratados, antes de submetê-las ao cliente;
- c. as listas de processos serão atualizadas ao longo do projeto;
- d. as listas preliminares de processos conterão os processos preliminares propostos pelo fornecedor (são utilizadas para a identificação de processos críticos a serem avaliados na revisão PDR);
- e. as listas de processos “as-designed” deverão refletir a correspondente linha de base, e deverão estar disponíveis para a reunião de revisão CDR;
- f. quaisquer modificações após as reuniões de revisão CDR ou QR deverão estar de acordo com as regras estabelecidas pelo projeto com respeito ao controle de processos.

Com respeito ao controle de processos, independentemente da classificação do processo, serão observados os seguintes requisitos (ECSS, 2009g):

- a. *especificação ou procedimentos*:
 - todo processo utilizado na fabricação ou montagem de um produto será identificado por uma especificação ou procedimento, que conterá, também, critérios de aprovação e rejeição.
- b. *materiais e partes mecânicas associadas*:
 - o fornecedor deverá demonstrar que todos os materiais e partes mecânicas usados durante a implementação do processo satisfazem aos critérios estabelecidos para Materiais, Partes Mecânicas e Processos.
- c. *seleção*:
 1. processos deverão ser escolhidos entre aqueles já verificados de acordo com a seguinte ordem de prioridade:

- aqueles que já tenham certificação, para condições idênticas de uso, por parte de agências espaciais ou órgãos governamentais de normalização;
 - aqueles que obtiveram resultados de *avaliação* e *verificação* satisfatórios quando aplicados em uma amostra representativa e com suficiente margem de segurança nas condições de uso;
 - aqueles que já tenham sido empregados com sucesso pelo fornecedor em outros programas espaciais nas mesmas condições de uso.
2. independentemente de um processo ter sido verificado ou não, sua seleção deverá considerar os seguintes critérios:
- a confiabilidade;
 - a inspectabilidade;
 - a susceptibilidade de retrabalho; e
 - a reprodutibilidade.
- d. manutenção da Lista de Processos:**
 todos os processos a serem utilizados por um fornecedor devem ser declarados em uma Lista de Processos, contendo, minimamente, as seguintes informações (ECSS, 2009h):
- referência do processo;
 - nome do processo;
 - especificação;
 - breve descrição do processo;
 - identificação do equipamento, subsistema e o uso específico;
 - fornecedor do processo;
 - referência dos materiais e partes mecânicas utilizados no processo;
 - criticidade;
 - observações do contratado principal;
 - aprovação do contratado principal;
 - comentários do cliente.
- e. análise de criticidade:**
1. o objetivo da *análise de criticidade* é o de classificar os processos em críticos, especiais e comuns, conforme requisitos anteriormente definidos;
 2. o fornecedor deverá analisar todos os processos contidos na lista com relação à sua criticidade, e em consonância com a análise de risco realizada para o projeto;
 3. processos críticos serão identificados na *lista de processos* e inclusos também na lista de itens críticos, controlada pelo controle de configuração;
 4. todo processo crítico deverá ser submetido a uma *solicitação de aprovação* (“*Request for Approval*” – RFA);
 5. processos especiais devem ser identificados e controlados;
 6. o *controle de processos* deverá ser instituídos através de procedimentos adequados, certificação de pessoal e o controle de processos diretamente na linha de produção;
 7. sempre que factível, deverá ser realizado o controle estatístico do processo. (ECSS, 2009i)
- f. status de verificação de um processo (ECSS, 2009j):**
1. o fornecedor deverá demonstrar que todos os processos críticos foram *verificados* antes que sejam usados na fabricação dos modelos de Qualificação e Vão;
 2. qualquer modificação, mudança de condição ou de configuração de um processo deverá levar a uma reavaliação, seguindo a seqüência de ações descrita na Tabela 1;
 3. a Tabela 2 apresenta os possíveis estados de aprovação de um processo.
- g. re-verificação de um processo:**
- Quando um processo precisar ser reverificado, uma RFA (requisição de aprovação de uso) deverá ser estabelecida e um programa de reverificação deverá ser implementado; qualquer parada longa na produção, modificação maior nas

instalações ou nos procedimentos ou transferência da produção para outra entidade poderá invalidar parcial ou completamente a verificação inicial do processo.

h. Implementação de um processo:

1. antes da implementação de um processo, o fornecedor deverá garantir que a mão de obra está treinada, e que o ambiente, os meios e a documentação estão adequados;
2. o fornecedor deverá, também, garantir que:
 - as ferramentas de fabricação e de controle da qualidade associadas ao processo são adequadas, calibradas e mantidas apropriadamente, e que serão utilizadas em condições de ambiente e limpeza apropriados;
 - deverá ser estabelecido e mantido um programa de controle de contaminação e limpeza pelo fornecedor que deverá incluir pelo menos: procedimentos de limpeza e métodos ou procedimentos para monitorar a limpeza;
 - os riscos de uma poluição química ou de partículas geradas no processo devem ser identificados e reduzidos, conforme as necessidades da missão;
 - para aplicações críticas de limpeza e contaminação, uma especificação de requisitos (química e de partículas) e um plano específico de limpeza deverão ser estabelecidos conforme os Anexos A e B do padrão ECSS-Q-ST-70-01 (ECSS, 2008b).
3. a mão de obra está treinada e certificada apropriadamente; e
4. que estejam disponíveis e atualizadas as especificações dos processos, os procedimentos de manufatura e inspeção, e a certificação de mão-de-obra; deverão, também, encontrar-se disponíveis a definição das operações de fabricação e os critérios de aceitação para os processos;

i. rastreabilidade de processos:

- a rastreabilidade dos processos deve ser garantida conforme o padrão ECSS-Q-ST-20C (ECSS, 2008c);

j. alertas e não conformidades de processos:

- não-conformidades e alertas devem ser processados conforme o padrão ECSS-Q-ST-10C (ECSS 2009l);

k. pontos de inspeção obrigatórios:

- os *pontos de inspeção obrigatórios* (“*Mandatory Inspection Points*” - MIP) deverão ser definidos conforme o padrão ECSS-Q-ST-20C (ECSS, 2008c).

l. embalagem, estoque e retirada de estoque:

- O fornecedor deverá definir as condições para embalagem, estoque e retirada de estoque para produtos ou produtos semi-acabados, antes e após o seu processamento.

5. CONTROLE DE PROCESSOS NO INPE – PROGRAMA CBERS

As atividades relativas aos processos de fabricação no INPE se baseiam no padrão ESA-PSS-01-70, “*Material and Process Selection and Quality Control for ESA Spacecraft and Associated Equipment*” (ESA, 1994), versão precedente do padrão ECSS descrito na seção anterior.

Em linhas gerais, para iniciar o processo de Verificação⁴ de Processos, o fornecedor deve preparar um plano que atenda ao documento RB-PAD-002 – CBERS 3&4, “*Product Assurance Requirements*” (INPE, 2005a), apresentando a estratégia para demonstrar que o processo a ser utilizado atende os requisitos do programa, sendo submetido à aprovação do contratante principal, no caso o INPE.

⁴ No INPE, o termo correntemente em uso é o de *qualificação*, como estabelecido em padrões ECSS anteriores, ao invés de *verificação*, como estabelecido no padrão corrente. De modo a manter coerência com a exposição em seções anteriores, optamos por seguir, ao longo de todo o trabalho, a nomenclatura corrente, especificada pelo padrão ECSS.

Os planos de verificação de processos devem contemplar os seguintes tópicos:⁵

- o processo deve ser claramente identificado;
- as habilidades dos profissionais responsáveis pelas atividades a serem realizadas devem ser definidas sendo que no relatório final os responsáveis por cada atividade devem ser nomeados;
- os materiais e as partes mecânicas a serem utilizados no processo devem ser qualificados para uso espacial e devem ser completamente descritos;
- a lista de materiais necessários, contendo detalhes tais como: identificação comercial ou designação padrão; natureza química; nome do fabricante e do fornecedor, bem como a especificação para compra; local de uso e função; condições ambientais que deverão ser atendidas pelo material se a missão o exigir, tais como: vácuo, corrosão sob tensão, corrosão e inflamabilidade (INPE, 2005b);
- deve ser fornecida uma lista declarada das partes mecânicas, contendo pelo menos: a identificação comercial completa, o tipo do produto, nomes do fabricante e fornecedor; referência à especificação de compra, função elementar e principais características, local de uso e função e criticalidade e susceptibilidade a dano (INPE, 2005b);
- devem ser listadas e descritas as máquinas, ferramentas, instrumentos e dispositivos necessários à execução do processo;
- também, devem ser definidas as condições de identificação, armazenamento, manuseio, transporte e embalagem de equipamentos, subsistemas e sistemas produzidos;
- para avaliação do processo, devem ser fornecidos critérios de aceitação a serem cumpridos pelos ensaios e inspeções nas amostras, as quais devem ser descritas e em quantidade baseada em critérios estatísticos que comprovem a representatividade do lote. Os critérios, testes e inspeções apresentados devem indicar a referência em que foram baseados;
- os processos deverão possuir procedimentos para fabricação, testes, montagens e inspeções. Os procedimentos deverão descrever passo a passo todas as atividades envolvidas. Estes procedimentos devem descrever os parâmetros dos processos e as condições adequadas do ambiente em que deverão ser realizados.

Após a implementação de todas as atividades previstas no plano o fornecedor deverá descrever em um relatório os resultados que demonstrem que o Plano foi cumprido e que o processo atende todos os requisitos do programa. Este relatório permitirá ao contratante principal julgar a qualificação do processo.

Comparando a metodologia para tratamento de processos no INPE com aquela preconizada pelo padrão ECSS, verificamos as diferenças listadas a seguir:

- a análise de criticidade dos processos não é realizada;
- a fase de avaliação não é prevista;
- ao invés de se utilizar-se o termo “verificação”, utiliza-se o termo “qualificação”;
- a solicitação de desvio não é tratada em Partes, Materiais e Processos, mas em Configuração;
- não é implementada a sistemática de alertas;
- o uso da verificação de processos aplica-se a todos os processos especiais e não somente aos críticos;
- aspectos como resistência à radiação, carga e descarga elétrica, compatibilidade com fluídos, compatibilidade galvânica, resistência ao oxigênio atômico, efeito de impacto de micrometeoritos e detritos, absorção e dessorção de umidade, efeitos

⁵ Quando o INPE adaptou o padrão ESA-PSS-01-70 para uso no Programa CBERS necessitou detalhar os procedimentos das atividades de garantia do produto. Assim o que está descrito neste parágrafo contém o que é praticado a respeito de verificação de processos no INPE e sua descrição foi baseada na experiência da autora.

mecânicos de superfície de contato e durabilidade (ECSS, 2009k), previstos na revisão recente do padrão ECSS não são avaliados.

6. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou de forma detalhada as diretrizes, definições e requisitos relativos a processos de fabricação, constantes do padrão ECSS-Q-ST-70C, “*Space product assurance. Materials, mechanical parts and processes*” (ECSS, 2009). Conforme a exposição, o padrão prevê a classificação de processos em *críticos*, *especiais* e *outros*. Processos críticos devem ser alvos de programas *de avaliação* e de *verificação*, que objetivam demonstrar a sua adequação para aplicação no projeto. A utilização de processos críticos no projeto está condicionada à aprovação do contratante, a qual se dará com base nos relatórios de *avaliação* e *verificação*. Os processos críticos são controlados tanto pela atividade de *controle de processos* quando pela atividade de *controle de configuração do projeto*. Todo processo utilizado no projeto é listado em uma Lista de Processos, que é atualizada ao longo da evolução do projeto. Ao final da revisão CDR, todos os processos constantes da *lista de processos* deverão ter o seu status definido, conforme a Tabela 2.

As atividades relativas aos processos de fabricação no INPE se baseiam no padrão ESA-PSS-01-70, “*Material and Process Selection and Quality Control for ESA Spacecraft and Associated Equipment*” (ESA, 1994), uma versão precedente do padrão corrente ESA-Q-ST-70C (ESA, 2009), descrito ao longo deste artigo.

Algumas diferenças entre as atividades desenvolvidas pelo INPE e o padrão ECSS corrente podem ser assim resumidas:

- a análise de criticidade dos processos não é realizada;
- a fase de avaliação não é prevista;
- ao invés de utilizar-se o termo “verificação”, utiliza-se o termo “qualificação”;
- a solicitação de desvio não é tratada em Partes, Materiais e Processos, mas em Configuração;
- não é utilizada a sistemática de alertas;
- a verificação de processos aplica-se a todos os processos, e não somente aos críticos;
- aspectos como resistência à radiação, carga e descarga elétrica, compatibilidade com fluídos, compatibilidade galvânica, resistência ao oxigênio atômico, efeito de impacto de micrometeoritos e detritos, absorção e dessorção de umidade, efeitos mecânicos de superfície de contato e durabilidade (ECSS, 2009k) previstos nesta revisão recente do padrão de materiais, partes mecânicas e processos da ECSS não são avaliados.

A realização de um *programa de avaliação* (ver Seção 3), anteriormente ao *programa de verificação*, em que são definidos os limites de uso do processo, determinados os seus parâmetros relevantes e suas tolerâncias e definidos os critérios para aceitação do processo, constitui-se em importante subsídio para o *programa de verificação*. Consideramos que a agregação desta etapa ao controle de processos desenvolvido pelo INPE representaria importante aprimoramento.

Como exposto na Seção 3, a atividade de *análise de criticidade* de processos ocorre concomitantemente à análise de risco, em que são identificados os *itens críticos* que compõem a *lista de itens críticos* do projeto (CIL – “*Critical Item List*”). Todo processo constante da CIL passará, mandatoriamente, por programas de *avaliação* e de *verificação*, além de ser controlado pelo controle de configuração ao longo do projeto. Considerando que todo processo técnico para a produção, montagem e integração de equipamentos e subsistemas, caso não se estime corretamente a sua importância, podem ser fonte de graves problemas para o produto, sugere-se que a *análise de criticidade* passe, também, a ser incorporada às atividades de controle de processos desenvolvidas pelo INPE.

Segundo o padrão ECSS, a atividade de seleção de processos prioriza os processos que já tenham certificação anterior, para condições idênticas de uso (ver Seção 4). Assim, o registro de

certificação e a manutenção de um banco de dados de processos certificados constituem-se, também, em atividades fundamentais do controle de processos. Haveria grande ganho em termos de prazo, custos e confiabilidade caso estas atividades fossem, também, incorporadas à sistemática de controle de processos implementada pelo INPE.

O programa espacial brasileiro, em particular em sua parte executada pelo INPE, tem, há muito, seus métodos de gerenciamento, engenharia e garantia do produto influenciados pelos padrões estabelecidos para o programa espacial europeu. Apesar de que estes padrões tenham sido sempre adaptados para a realidade de cada missão, consideramos que poderia haver grande ganho se, em algumas áreas, como a de processos, e possivelmente partes e materiais, houvesse uma normalização de procedimentos, aplicável universalmente a todos os projetos. Tendo o novo padrão ECSS, para partes, materiais e processos, sido publicado em 2009, consideramos o momento oportuno para uma atualização dos procedimentos adotados pelo INPE nesta área, ao mesmo tempo em que a proposta acima poderia ser avaliada.

7. REFERÊNCIAS

CARPINETTI, L.C.R, MIGUEL, P.A.C., GEROLAMO, M.C., Gestão da Qualidade – ISO 9001:2000 – Princípios e requisitos, Editora Atlas, São Paulo, p. 17, 2009.

CHIAVENATO, I., “História da Administração”, Editora Saraiva, São Paulo, 2009.

DAVENPORT, T. H. “Putting the Enterprise into the Enterprise System,” *Harvard Business Review*, July-August, 1998.

DE SORDI, J.O., “Gestão por Processos”, Editora Saraiva, São Paulo, p. 11, 2008.

ECSS - EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, ECSS-E-10-02A Space Engineering – Verification, ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, p. 51, 1998.

ECSS - EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, ECSS-P-001B ECSS Glossary of terms, ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, p. 31, 2004.

ECSS - EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, ECSS-Q-ST-10-09C, Space Product Assurance – Nonconformance control system, ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2008a.

ECSS - EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, ECSS-Q-ST-70-01C Space Product Assurance – Cleanliness and contamination control, ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2008b.

ECSS - EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, ECSS-Q-ST-20C, Space Product Assurance – Quality assurance, ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2008c.

ECSS - EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, ECSS-Q-ST-70C Space Product Assurance – Materials, mechanical parts and process, ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2009.

ECSS - EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, ECSS-Q-ST-70C Space Product Assurance – Materials, mechanical parts and process, ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, p. 12, 2009a.

Ibid., p. 39, 2009b.

Ibid., p. 18, 2009c.

Ibid., p. 58, 2009d.

Ibid., p. 15, 2009e.

Ibid., p. 19, 2009f.

Ibid., p. 37, 2009g.

Ibid., p. 56, 2009h.

Ibid., p. 38, 2009i.

Ibid., p. 40, 2009j.

Ibid., p. 24-27, 2009k.

ECSS - EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION, ECSS-Q-ST-10C, Space product assurance – Product assurance management, ECSS Secretariat, ESA–ESTEC, Requirements & Standards Division, Noordwijk, The Netherlands, 2009l.

GONÇALVES, José Ernesto Lima. As empresas são Grandes Coleções de Processos. ERA – Revista de Administração de Empresas/EAESP/ FGV. São Paulo, vol. 40, no 1, p.7, 2000.

INPE, CBERS 3&4 Product Assurance Requirements, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – RB-PAD-002/02, São José dos Campos, Brasil, 2005a.

INPE, Descrição Detalhada do Trabalho de Desenvolvimento de Equipamentos do Subistema de TRANSMISSÃO DE DADOS DAS CAMERAS MUX & WFI (MWT SUBSYSTEM) dos Satélites CBERS 3&4, RBK-SOW-1006/00, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos campos, Brasil, p. Q3, 2005b.

OLIVEIRA, S.B., “Análise, Modelagem e Documentação de Processos”, em “Gestão por Processos”, Ed. Saulo Barbará de Oliveira, Qualitymark Editora, Rio de Janeiro, p. 154, 2006a.

Ibid., p. 143, 2006b.

PAIM, R., CARDOSO, V., CAULLIRAUX, H., CLEMENTE, R., “Gestão de Processos”, Editora Bookman, Porto Alegre, 2009