

2

Situação Atual

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) é responsável por pelo SISTEMA de CONTROLE do ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO (SISCEAB) que está subordinado ao Comando da Aeronáutica que subordina outros grandes Comandos, tais como, COMGAP (Comando Geral de Apoio) e COMGAR (Comando Geral do Ar), além das Comissões de compras no exterior, CABW (Comissão Aeronáutica Brasileira em Washington) e CABE (Comissão Aeronáutica Brasileira na Europa).

No Brasil toda estrutura de controle de tráfego aéreo, tanto civil quanto militar está subordinada ao COMAER/ DECEA.

2.1

Estrutura logística no SISCEAB

A estrutura do DECEA está apresentada na Figura 2.1. Esta estrutura é composta pelo Parque de Material de Eletrônica (PAME), quatro Centros Integrados de Defesa e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA I, II, III, IV), 240 Destacamentos de Controle do Espaço Aéreo (DTCEA) e uma Comissão de Implantação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo (CISCEA).

Os Órgãos subordinados ao DECEA detêm as funções de planejar, projetar, especificar, adquirir, implantar, manter e operar todos os sistemas (hardware e software) que são necessários para fazer um eficiente controle do tráfego aéreo nacional.

Para fazer a integração dos diversos órgãos citados, principalmente na gestão da manutenção e logística associada, o SISCEAB possui implantado um sistema informatizado chamado Sistema Logístico de Manutenção e Suprimento (SILOMS). Este Sistema tem como objetivo final a integração de todas as Organizações subordinadas ao COMAER.

Para facilitar o entendimento da atuação no SISCEAB de cada Órgão subordinado ao DECEA, é importante definir a estrutura de manutenção e suprimento adotada.

O Manual de Manutenção da Aeronáutica, 66-1 (MMA 66-1) define as atividades de manutenção que são feitas em cada Órgão mantenedor e conseqüentemente o tipo de sobressalentes a serem alocados nos Suprimentos. As atividades foram classificadas por níveis de dificuldades e delegadas aos Órgãos com competências para cada nível. Estes níveis foram definidos como sendo de primeiro, segundo, terceiro e quatro escalões de Manutenção. A distribuição de competência está como a seguir definida:

- (a) Primeiro Escalão – Neste escalão são tratadas as manutenções que podem ser realizadas ao nível Sítio, dentro das condições de conhecimento técnico e da logística disponível para este nível. Normalmente são feitas as manutenções definidas como de frequências diárias e as manutenções corretivas implementadas pela troca de equipamentos ou subconjuntos (módulos ou placas eletrônicas).
- (b) Segundo Escalão – Neste escalão são tratadas as manutenções que podem ser realizadas ao nível Regional, dentro das condições técnicas, logísticas e humanas instaladas. Normalmente se realiza o reparo do equipamento ou subconjunto trocado em Sítio e enviado ao Regional, fazendo a substituição da placa eletrônica ou módulo em pane.
- (c) Terceiro Escalão – Neste escalão são tratadas as manutenções que não puderam ser realizadas ao nível Regional devido ao grau de dificuldade e foram enviadas para o Parque, onde serão tratadas dentro das condições técnicas, logísticas e humanas instaladas.
- (d) Quarto Escalão – Neste escalão são tratadas as manutenções que não podem ser realizadas somente usando as condições instaladas no nível Parque, mas que necessitam usar do apoio do fabricante. Neste escalão estão também aquelas manutenções de alto grau de dificuldade que são somente realizadas pelo fabricante.

A seguir são apresentadas as funções que cada organização desempenha no SISCEAB.

2.1.1

DECEA

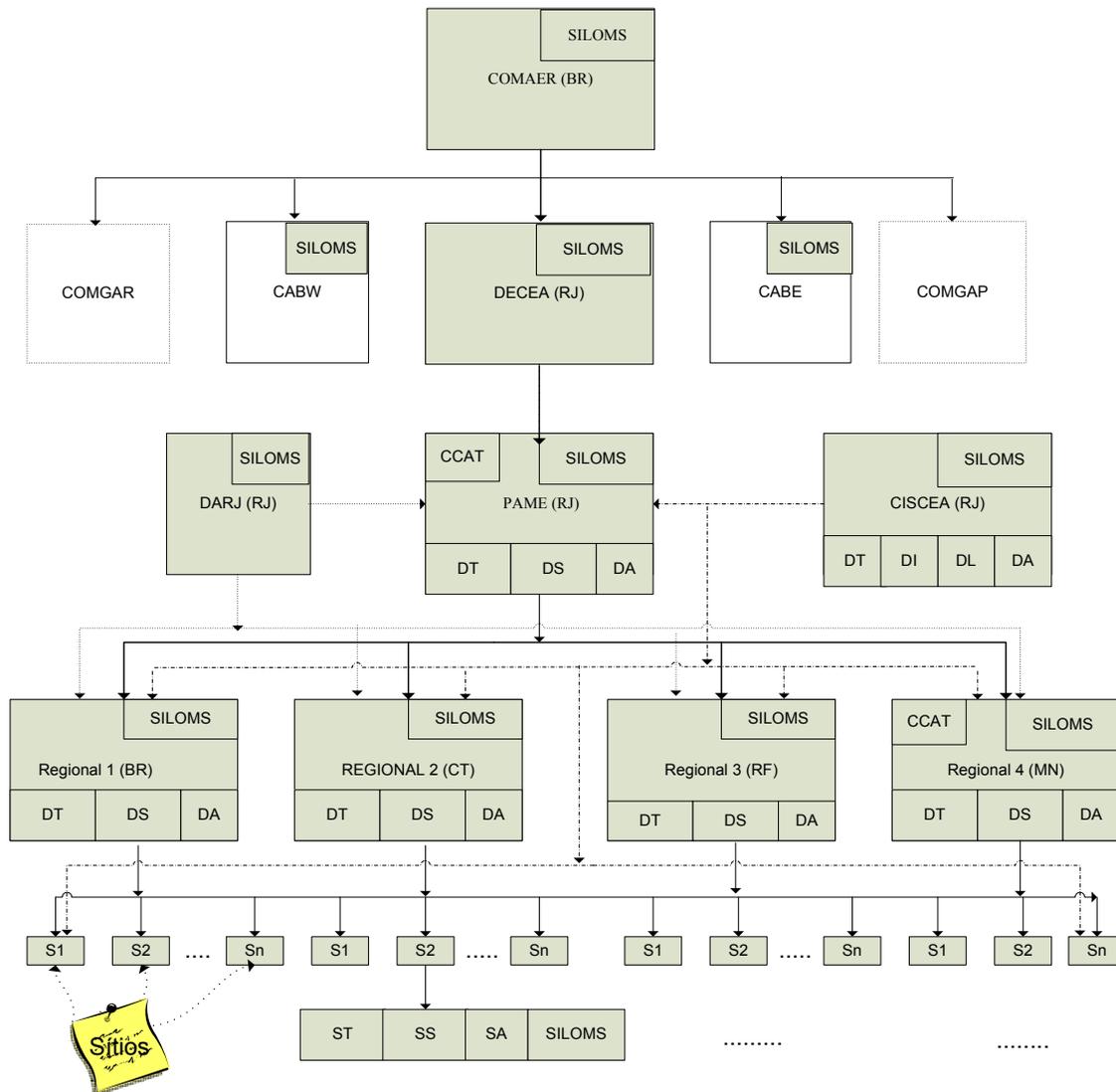
Órgão cuja função é estudar e tomar decisões ao nível estratégico, além de fiscalizar. Os resultados dos estudos são disponibilizados por intermédio das definições das necessidades operacionais, técnicas, logísticas e orçamentárias para o SISCEAB.

2.1.2

PAME

É o órgão Central de Manutenção e Suprimento do SISCEAB que está localizado no Rio de Janeiro, cuja estrutura física e funcional é composta pela Divisão Técnica (DT), Divisão Administrativa (DA) e Divisão de Suprimento (DS). A Divisão Técnica é composta por laboratórios, os quais são responsáveis pela manutenção de terceiro escalão, dos equipamentos implantados no SISCEAB. Todos os laboratórios estão equipados com instrumentos de testes, ferramentas e documentação técnica, adequadamente implantados para atenderem a demanda de manutenção dos itens em panes procedentes dos Regionais e Sítios subordinados. Os laboratórios são adequadamente atendidos por técnicos especializados em cada um dos equipamentos que configuram os sistemas instalados. O PAME por executar manutenção ao nível de terceiro escalão possui pessoal com perfil de conhecimento superior ao do pessoal dos Regionais e Sítios. Em função desta qualificação, estes técnicos podem ser chamados a executar serviços de manutenção preventiva ou corretiva, na modalidade volante, nos equipamentos instalados nos Sítios desassistidos ou prestarem serviços de manutenção nos laboratórios dos Regionais.

A Divisão Administrativa, por sua vez, é responsável pela provisão orçamentária para as compras dos itens sobressalentes e materiais necessários para atenderem às solicitações da Divisão de Suprimento.



Notas:

- 1) S1, S2, Sn - Sítios;
- 2) CISCEA - Comissão de Implantação do Controle do Espaço Aéreo;
- 3) CCAT – Centro de Catalogação;
- 4) DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo; COMGAR – Comando Geral do Ar;
- 5) DT - Divisão Técnica, DS - Divisão Suprimento, DA - Divisão Administrativa;
- 6) ST – Setor Técnico, SS – Setor de Suprimento, SA – Setor Administrativo;
- 7) DARJ – Depósito Aeronáutico do Rio de Janeiro;
- 8) CABW e CABE - Comissões Aeronáuticas Brasileiras em Washington e Londres.

Fig. 2.1 – Diagrama da Estrutura do SISCEAB.

A Divisão de Suprimento, instalada dentro de dois grandes armazéns, devidamente climatizados e equipados com meios para recebimento, controle, armazenagem e expedição, dividida administrativamente nas seções de recebimento, armazenagem, controle e expedição é responsável pela gestão dos estoques de sobressalentes reparáveis, não reparáveis e consumíveis. Os estoques

de sobressalentes do PAME têm a função de suprirem os estoques dos Regionais e os destes por suas vezes os estoques dos sítios subordinados. A Divisão de Suprimento também recebe, controla e distribui os itens em pane procedentes dos Regionais que serão encaminhados aos laboratórios da Divisão Técnica para avaliação e reparos, bem como, executa os procedimentos de envio e controle para manutenção nos fabricantes dos itens não passíveis de manutenção nos laboratórios do PAME. A manutenção feita pelo fabricante é considerada enquadrada no nível de quarto escalão.

A Divisão de Suprimento também tem a função de receber, controlar, estocar e distribuir os itens reparados, quer os procedentes dos laboratórios do PAME ou aqueles retornados de reparos nos fabricantes, além de receber, catalogar, estocar, controlar e distribuir para os Regionais subordinados os itens sobressalentes novos, adquiridos para atender novos sistemas implantados.

O transporte bidirecional entre PAME e Regionais é feito quase que na totalidade pelo modal aéreo e uma pequena parte pelo modal rodoviário. O modal aéreo faz uso dos equipamentos das companhias aéreas comerciais e do Correio Aéreo Nacional (CAN), este fazendo uso das aeronaves da Força Aérea. O modal terrestre é feito sob contratação de serviços de companhia comerciais ou por equipamentos específicos do SISCEAB.

Para a gerência, controle e integração de todos estes processos: controle de manutenção, suprimento e transporte, o PAME se utiliza do Sistema Logístico de Manutenção e Suprimento (SILOMS), o qual será detalhado no item 2.3 deste trabalho.

2.1.3

Regionais

Conforme mostrado na Figura 2.1, os Regionais são órgãos estrategicamente implantados no território nacional, apoiados logisticamente pelo PAME, e compostos pelas Divisões Técnica, Administrativa e de Suprimento.

As Divisões Técnica e de Suprimento executam atividades similares aquelas definidas para as divisões do PAME, mantendo o nível de enquadramento de atendimento de segundo escalão e sua posição hierárquica de subordinação.

Para alguns tipos de equipamentos/ sistema o Regional pode estar qualificado para atender atividades classificadas ao nível de terceiro escalão.

À Divisão Administrativa do Regional compete a gestão interna da unidade.

2.1.4

Sítios

Os Sítios são localidades onde os equipamentos dos sistemas de controle de tráfego aéreo que compõem o SISCEAB estão fisicamente instalados. Estes Sítios podem ser assistidos ou desassistidos. Quando desassistido, os equipamentos dos sistemas instalados são tele supervisionados e telecomandados por intermédio do Regional ao qual está subordinado. A manutenção quando necessária é feita por uma equipe volante que parte do Regional ou PAME. Quando o sítio é assistido, ele tem uma estrutura funcional semelhante à já mencionada para o Regional e PAME. Dentro da estrutura escalonada, o Sítio ocupa o primeiro nível de enquadramento.

A composição de um Sítio em termo de sistemas instalados pode variar de um único sistema de equipamentos meteorológicos a uma composição que contém sistemas de Radares, de Rádios de controle terra ar, de estações para comunicações por satélites, de redes integradas de controle de tráfego, de energia, de climatização e outros. Assim, pode-se ver a complexidade para a estruturação da manutenção e logística associada ao longo dos escalões apoiados pelos Sítios, Regionais, Parque e fabricantes.

2.1.5

Depósito da Aeronáutica

Depósito da Aeronáutica do Rio de Janeiro (DARJ) é o órgão responsável pelo recebimento, desembaraço alfandegário e internação de materiais adquiridos no exterior, bem como, do desembaraço e exportação de peças para reparos nos laboratórios de fabricantes situados no exterior. Este órgão dá suporte não só ao SISCEAB, mas também, a outros grandes comandos conforme mostrado na Figura 2.1.

2.1.6

CABW e CABA

São Comissões Aeronáuticas Brasileiras subordinadas ao COMAER, instaladas em Washington e Londres que têm como função o atendimento de pedidos de compras, recebimento e remessa de equipamentos e itens sobressalentes, bem como a compra de serviços (manutenção de itens no fabricante, treinamento) para atender aos equipamentos dos sistemas instalados no território nacional sob a responsabilidade do DECEA e outros grandes Comandos.

2.1.7

CISCEA

A Comissão de Implantação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo é um órgão do SISCEAB instalado no Rio de Janeiro que tem como função as atividades de planejamento, especificação e implantação de novos equipamentos/sistemas para o controle do espaço aéreo.

Algumas destas atividades são o planejamento, a especificação e implantação da logística inicial para a manutenção dos equipamentos/ sistemas em implantação pelo SISCEAB.

Neste processo, as atividades logísticas compreendem a definição do treinamento, dos instrumentos de testes, das ferramentas, da documentação técnica, da lista inicial de sobressalentes, da garantia técnica, da operação assistida, do dimensionamento de pessoal técnico dentre outras.

2.2

Atividades de Manutenção no SISCEAB

Quando um equipamento do sistema instalado no Sítio apresenta uma falha, a equipe técnica do Sítio ou a equipe volante faz a avaliação e identifica o equipamento em falha, caso o equipamento esteja disponível em estoque no Sítio, um equipamento bom é disponibilizado e instalado no sistema no lugar daquele em pane, colocando o mesmo para operar. Simultaneamente o setor de suprimento do Sítio emite uma solicitação de reposição de estoque para o Regional

subordinante, fins completar seu estoque. O equipamento em falha é avaliado, caso seja identificado o item em pane e este item esteja também disponível no estoque do sítio, o item em falha é substituído e o equipamento reparado será enviado para o estoque ou voltará para o sistema caso a solicitação emitida para o Regional ainda não tenha sido atendida, cancelando a requisição feita ao Regional. Caso o equipamento não seja reparado no sítio, o mesmo é enviado ao Regional. Quando o equipamento é reparado no sítio, o item em falha retirado do equipamento é enviado para o Regional, onde recebe procedimentos similares aos anteriormente mencionados.

Para o Regional e Parque procedimentos similares aos anteriores são executados, sendo que no Parque o próprio fabricante pode vir a intervir para solução da pane. Assim, para efeito de dimensionamento de sobressalentes, o Parque é tido como última instância de reparo e todas as falhas são por ele resolvidas.

2.3

Sistema de Controle Logístico do SISCEAB

O SISCEAB, com o intuito de modernizar o seu controle logístico, desenvolveu um sistema informatizado chamado SILOMS (Sistema Logístico de Manutenção e Suprimento). Este sistema já está implantado fisicamente e operando nos Sítios, Regionais e Parque.

O objetivo do SILOMS é disponibilizar facilidades informatizadas de modo simultâneo e em tempo real nos diversos órgãos do SISCEAB e outros órgãos integrados, conforme mostrado na Figura 2.1. Atualmente as atividades das funções de operacionalização da manutenção e da gestão de estoques de sobressalentes estão sendo todas executadas por intermédio do suporte disponibilizado pelo referido sistema. Ele opera como um sistema de integração a nível nacional facilitando as consultas, as tomadas de decisões e o desenvolvimento das atividades para qualquer órgão do SISCEAB, independente do local de sua localização.

Por intermédio do SILOMS são feitas atividades como:

Na área de suprimento faz a implantação de configurações de sistemas instalados e controla os estoques de itens sobressalentes nos diversos níveis e escalões (Sítio, Regional e Parque);

Na área de manutenção recebe ordem de serviço, faz requisição de sobressalentes e fecha ordem de serviço;

No setor de controle do suprimento emite guias de remessas e solicita transporte;

No setor de transporte providencia as demais atividades para fazer com que o item solicitado chegue ao local de destino;

Nos setores de controle de estoques de sobressalentes das diversas localidades têm a facilidade de medir a demanda para cada tipo de item das configurações implantadas para os sistemas instalados;

O setor central de planejamento e compra (Parque) terá a facilidade de monitorar a demanda e providenciar com eficiência a reposição de estoques nos diversos níveis de suprimento, quase que em tempo real. Só dependendo das disponibilidades de item no fornecedor, meio de transporte e crédito;

Os setores de controle de manutenção dos diversos escalões poderão estar sempre atualizados quanto a situação do item/ equipamento enviado para reparo. Saberá as datas de liberação do reparo e do respectivo embarque e conseqüentemente terá uma previsão de atendimento de sua demanda;

E em futuro próximo, os dados de demandas e consumos fornecerão informações valiosas para análise e implantação de novos subsistemas quer seja na definição de serviços, quer seja no dimensionamento de novos estoques.

2.4

Catálogo

Como dizem os gestores de logística, sem catálogo não há procedimento logístico que seja eficiente. Para cuidar destas atividades, o SISCEAB tem instalado em vários órgãos, setores com esta finalidade, como pode ser observado na Figura 2.1.

O SILOMS trata deste procedimento muito eficientemente, usando o processo de catálogo empregado pelos signatários da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) e um processo de catálogo proprietário para

atender principalmente aqueles itens que ainda não têm o “National Stoke Number” (NSN) da catalogação OTAN. Pertencer e catalogar de acordo com as normas deste sistema é muito importante para organizações que fazem compras em várias partes do mundo. A codificação usada é vastamente difundida e conhecida em vários países, o que proporciona ao cliente encontrar o produto em várias localidades e por preços diferenciados. Outro diferencial apresentado pela catalogação é a facilidade disponibilizada para evitar comprar itens em duplicação ou até triplicação, caso que acontece facilmente quando o fornecedor tem uma codificação proprietária.

Com base na estrutura apresentada, a seguir, este trabalho enfocará os procedimentos atualmente usados para definir, calcular, adquirir e implantar uma lista inicial de estoque de sobressalentes eletrônicos para um novo sistema em implantação no SISCEAB.

2.5

Definição e Quantificação de uma Lista Inicial de Sobressalentes

O SISCEAB, hoje, para quantificar uma lista inicial de sobressalentes (consumíveis ou reparáveis) usa dos conceitos e parâmetros da Confiabilidade, Manutenibilidade, Disponibilidade e da Gestão de Estoques para fazer os cálculos das quantidades para cada escalão de manutenção usando um processo que será aplicado num caso na Seção 2.5.3. Dentro do perfil anteriormente mencionado, a CISCEA, na qualidade de gestora da implantação do Suporte logísticos para os novos sistemas, adaptou procedimentos que são usados para a definição, composição, quantificação e distribuição de estoques de sobressalentes nos diversos escalões de manutenção (1º escalão - Sítios, 2º escalão - Regionais e 3º escalão - Parque). A seguir serão mostrados os procedimentos atualmente adotados pela CISCEA para o cálculo dos estoques iniciais de sobressalentes, bem como, será apresentado um caso prático ora em análise para a definição da contratação.

2.5.1

Metodologia de Previsão utilizada pela CISCEA

Os conceitos usados pela CISCEA estão também compilados em Wanke, (2003) e Blanchard, (1998), os quais resumem que os itens eletrônicos de alta tecnologia no que tangem as suas falhas podem ser conceituados pelo baixo consumo, pela independência entre elas, pela taxa de falha constante, pelo tempo entre falhas serem regidos por uma distribuição exponencial ao longo de sua vida útil e preço unitário elevado. Isto permite que seja calculada a quantidade de sobressalentes para uma dada Probabilidade de não ruptura de estoque em função de um determinado tempo, usando um modelo matemático baseado no processo de Poisson. Este conceito usado pela CISCEA para o cálculo da lista inicial de sobressalentes tem sido ratificados em propostas apresentadas por empresas de porte como, SITTI (italiana), Pak Air (inglesa), Rhode&Schwarz (alemã), Raytheon (Norte americana) dentre outras. As especificações logísticas emitidas pela CISCEA normalmente informam a probabilidade de não ruptura de estoque requerida $[Ps(s)]$ para cada item, estimado um dado período de tempo (T). É dada a estrutura organizacional logística em que o novo sistema será implantado, vinculando às atividades previstas para cada escalão às organizações do SISCEAB, tais como, Sítios, Regionais e Parque.

As definições e classificações da estrutura organizacional logística em escalões, conforme já mencionado, vinculam-se em função da equipagem das bancadas existentes em cada laboratório, da documentação técnica disponibilizada, do nível técnico do pessoal treinado e do tipo de sobressalentes disponibilizados.

O modelo CISCEA, por ser mais abrangente em suas definições e facilitar a distribuição, classifica os sobressalentes em:

A₀ – eletromecânicos reparáveis;

A₁ – sobressalentes consumíveis, tais como lâmpadas, leds e fusíveis;

A₂ – tubos e válvulas;

B – placas eletrônicas, módulos, subconjuntos e conjuntos; e

C – componentes para uso na reparação em Parque e/ ou fábrica (4º escalão).

Para a distribuição dos sobressalentes, a CISCEA adota os seguintes critérios:

- a) Para sítio – distribuir sobressalentes do tipo A_0 , A_1 e B desde que o item seja crítico e de fácil substituição. Neste caso, calcula-se a quantidade necessária para o sistema, distribui-se pelo menos uma unidade para cada sítio e a diferença entre o total calculado e o somatório do material distribuído deverá ser armazenada no Parque (PAME).
- b) Para o sítio – item sobressalente do tipo A_2 , crítico e de fácil substituição, distribuir pelo menos uma unidade para cada sítio.
- c) Para o Regional – itens sobressalentes dos tipos A_0 e B deverão ser estocados pelo menos uma unidade de cada item existente no Sítio e/ ou no Parque.

Para item sobressalente do tipo A_1 , calcula-se o somatório das quantidades previstas para os sítios e distribui-se conforme solicita o seu tempo médio entre falhas (MTBF).

- d) Para o Parque – Itens do tipo A_0 , A_1 e B, se não crítico, calcular o necessário para atender ao sistema.

Se os itens do tipo A_0 , A_1 e B são críticos, ficará armazenado no Parque o resultado encontrado na distribuição citada na letra (a) acima.

Item do tipo A_2 , se não crítico, calcula o necessário para atender ao sistema.

Se o item A_2 é crítico, calcular o necessário para atender ao sistema e subtrai o somatório das quantidades distribuídas para os sítios, conforme letra (b) acima.

Se o item é do tipo C, calcula-se o necessário para atender ao sistema.

Os itens sobressalentes também se classificam:

a. Quanto à Reparabilidade

Reparáveis – são os itens que podem receber manutenção corretiva dentro da estrutura de escalões prevista, de forma a restaurar o item para as condições de operação.

Não Reparáveis – são aqueles itens que, tendo falhado, serão descartados e a substituição no nível previsto será através de um item novo.

b. Quanto à categoria dos sobressalentes:

Equipamento ou unidade - são itens que podem ser substituídos ao nível do sistema, caracterizando-se como uma unidade funcional do mesmo. São sempre reparáveis.

Conjuntos – São os itens que podem ser substituídos ao nível dos equipamentos, caracterizando-se como uma unidade funcional do mesmo. São constituídos de módulos, placas eletrônicas ou subconjuntos. São sempre reparáveis. Podem ser classificados como: A₀, eletromecânicos reparáveis ou B, placas eletrônicas e subconjuntos.

Componentes – São os itens que podem ser substituídos ao nível de equipamento ou de conjunto, caracterizando-se por não serem reparáveis. Podem ser classificados como: A₁ – consumíveis; A₂ – tubos e válvulas; A₃ – demais componentes instalados em painéis e C – componentes instalados em placas eletrônicas e módulos.

c. Quanto à criticidade operacional:

Críticos – São os itens cujas falhas causam a inoperância total do sistema e que não estão incluídos em uma configuração duplicada.

Não críticos – são os itens cujas falhas não causam a inoperância total do sistema.

d. Quanto à facilidade de substituição:

Os sobressalentes são classificados em Fácil (F), Médios (M) e Difíceis (D).

e. Critério para distribuição dos itens sobressalentes

Segundo os critérios adotados pela CISCEA, os sobressalentes são distribuídos conforme o mostrado na Tabela 2.1 apresentada a seguir.

2.5.2

Cálculo da quantidade demandada de sobressalente

Observa-se que a vida útil de equipamentos eletrônicos, hoje, está na faixa de 5 a 10 anos, uma vez considerando que a sua obsolescência se dá pelo fato do desenvolvimento de novas tecnologias que produzem itens mais eficientes e mais baratos e não por fatores de envelhecimento intrínsecos da matéria de seus componentes.

Conceitualmente é explicado por diversos autores especializados que itens eletrônicos em regime de trabalho permanente apresentam falhas de maneira aleatória, e que as falhas são independentes entre si ao longo do tempo e possuem baixas demandas. Verifica-se também que o tempo médio entre falhas é constante e distribuído conforme uma distribuição exponencial.

Portanto, quando o tempo entre falhas segue a distribuição exponencial, tem-se que o número de falhas por unidade de tempo segue a distribuição de Poisson.

Para sedimentar as informações dadas anteriormente, em seguida, serão resumidos os conceitos de confiabilidade e disponibilidade operacional, bem como a definição matemática que envolve os parâmetros e as variáveis nos cálculos das quantidades de unidades de sobressalentes usando dos procedimentos adotados pela CISCEA que estão apoiados no processo de Poisson.

a. Confiabilidade

A confiabilidade é uma grandeza que está ligada a qualidade dos materiais usados e também ao projeto desenvolvido. Segundo BLANCHARD (1998), ela é definida com a probabilidade de que um item ou equipamento tem de desempenhar sua função sem falhas dentro dos parâmetros para o qual ele foi construído, sob condições especificadas e por um período de tempo definido.

Da observação de vários trabalhos publicados, pode-se obter que a distribuição exponencial é largamente usada para calcular a previsão da confiabilidade de equipamentos eletrônicos. Tais equipamentos, geralmente, apresentam taxa de falhas constante ao longo do tempo de uso, o que é uma das características da distribuição exponencial.

A função confiabilidade:

A função densidade de falhas representa a variação da probabilidade de falhas por unidade de tempo, que matematicamente é representada por:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt},$$

$$F(t_2) - F(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} f(t).dt \quad (2.1)$$

Que representa as falhas acumuladas no intervalo de tempo $[t_1, t_2]$.

Logo, a confiabilidade é dada por,

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t).dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t).dt = 1 - F(t) \quad (2.2)$$

e,

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.3)$$

Onde,

$F(t) \rightarrow$ é a função acumulada de falhas, e

$R(t) \rightarrow$ é a função confiabilidade.

Logo, para equipamentos eletrônicos, tem-se a função densidade de falha dada por,

$$f(t) = \lambda.e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

Onde,

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

e,

$MTBF \rightarrow$ é o tempo médio entre falhas, e

$\lambda \rightarrow$ é a taxa de falha.

$$R(t) = 1 - \int_0^t \lambda.e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

Sendo esta a função da Confiabilidade.

Características:

- Taxa de falha constante;
- Propriedade aditiva, as taxas de falhas se somam; e
- Não carrega memória de falhas passadas.

b. Disponibilidade

A disponibilidade é definida como sendo o quociente entre o período de tempo que o item ou equipamento está disponível cumprindo a missão para o qual foi projetado e a soma deste período de tempo mais aquele em que o item ou equipamento está inoperante devido à manutenção.

Matematicamente, tem-se

$$A_o = T_{on} / (T_{on} + T_{off}) \quad (2.6)$$

Onde:

$A_o \rightarrow$ disponibilidade operacional;

$T_{on} \rightarrow$ tempo em funcionamento;

$T_{off} \rightarrow$ tempo inoperante devido a manutenção preventiva e corretiva.

Exemplo:

Qual foi Disponibilidade operacional (A_o) de um equipamento em regime contínuo de operação (24 horas/dia) que operou 700 horas e esteve parado por 20 horas? Sua disponibilidade será de:

$$A_o = \frac{720}{720+20} = 0,9722$$

A disponibilidade é função de vários fatores, dentre eles tem-se:

Características construtivas do equipamento; e

Suporte logístico disponível (ex.: técnico preparado, manuais técnicos, sobressalentes, instrumentos de testes, ferramentas e etc.).

c. Probabilidade de Não-ruptura de Estoque e Disponibilidade Operacional

Consultando a literatura especializada, não foi possível encontrar uma fórmula matemática que relacionasse disponibilidade operacional (A_o) com a probabilidade de não-ruptura de estoque ($P_s(x)$).

A instrução CISCEA (1994), de forma empírica, determina as equivalências conforme Tabela 2.2:

Tabela 2.2 – $P_s(x)$ sugerida em função de A_0

A_0	$P_s(x)$
0,95	0,95
0,96	0,97
0,97	0,98
0,98	0,99
0,99	0,995

d. Modelo Matemático de Poisson

A expressão da probabilidade acumulada de Poisson foi adotada para o cálculo da quantidade de unidades de sobressalentes para cada item, conforme a seguir definida:

$$P_s(x) = \sum_{x=0}^s \frac{F^x}{x!} \times e^{-F} \quad (2.7)$$

para $x = 0, 1, 2, \dots, s$.

Onde:

x = variável aleatória estimada, usada para calcular a probabilidade acumulada de atendimento das falhas de um determinado item por período de tempo.

$P_s(x)$ = probabilidade acumulada de que o número médio de falhas “ F ” de todas unidades instaladas do item, seja menor ou igual a “ s ”, não havendo assim a ruptura do estoque de sobressalentes, quando a quantidade estocada for igual a “ s ”.

F = número médio de falhas do item instalado, sendo que $F = K*N*M*L*D$,

Onde,

K = número total de equipamentos que contém o item.

N = quantidade do item instalada em cada equipamento.

M = taxa média de utilização do total de unidades ($K*N$) do item instaladas.

L = taxa de falhas do item, normalmente designada por λ .

D = duração do período de atendimento previsto para o estoque.

As expressões MTBF (Mean Time Between Failure) e MTTF (Mean Time To Failure) também são usadas como alternativas para informar taxas de falhas de item reparável e item descartável respectivamente.

Assim, tem-se que:

MTBF = $1/\lambda$ → tempo médio entre falhas; e

MTTF = $1/\lambda$ → Tempo médio até a falha.

A aplicação do modelo de Poisson é feita considerando-se as seguintes hipóteses e restrições:

- A taxa de falha é considerada constante ao longo do período “D”, sendo as falhas decorrentes de eventos estocásticos e independentes, por mecanismos intrínsecos do próprio item.
- O sistema estará operando dentro das condições normais de especificação, recebendo toda manutenção preventiva para ele preconizada, bem como toda a manutenção corretiva necessária para restaurá-lo às condições originais de especificação e nível de qualidade.

Os parâmetros usados para o cálculo dos sobressalentes seguem às seguintes condições:

- A probabilidade de não-ruptura de estoque ($P_s(x)$) para cada item é definida conforme Tabela 2.2, em função da disponibilidade requerida, a qual pode variar de sistema para sistema, dependendo de sua utilidade e criticidade para o SISCEAB.
- A duração do período de atendimento (D) é classificada para:
 - Estoque sítio:
 - Itens reparáveis – 6 meses = 4.380 horas, e
 - Itens não- reparáveis – 6 meses = 4.380 horas.
 - Estoque Regional:
 - Itens reparáveis – 1 ano = 8.760 horas, e
 - Itens não-reparáveis – 1 ano = 8.760 horas.
 - Estoque Parque:
 - Itens reparáveis – 1 ano = 8.760 horas, e
 - Itens não-reparáveis – 2 anos = 17.520 horas.

Estas durações podem mudar dependendo da utilidade, criticidade e do tipo de equipamento em implantação. O fator orçamentário também influencia. A

especificação logística que instrumentaliza o processo de licitação é definidora da real situação a ser aplicada.

➤ Taxa de utilização do sistema ou equipamento (M):

- $M = 1,0$ para itens em operação permanente, 24 horas por dia e 365 dias por ano, e
- $M < 1,0$ dependendo da duração programada de sua utilização em relação ao período de tempo considerado, um dia, uma semana ou um ano (ex.: no caso de itens de monitoração / supervisão, $M = 0,1$).

Exemplo:

Há um rádio de sondagem espacial instalado em um sítio que opera 24 horas por dia ininterruptamente. Pede-se calcular o número médio de falhas.

Dados:

$$K = 1, N = 1, M = 1, L = 0,000026 \text{ e } D = 720[\text{h}].$$

Solução:

$$F = 1 \times 1 \times 1 \times 0,26 \times 720 = 0,018 \text{ [falhas/h]}.$$

Considerando que o mesmo tipo rádio foi instalado em outro sítio e que só opere durante o dia quando tem operador e que as demais condições são as mesmas do rádio do sítio anterior. Nesta situação qual o número médio de falhas?

Dados:

$$K = 1, N = 1, M = 0,5, L = 0,000026 \text{ e } D = 720[\text{h}].$$

Solução:

$$F = 1 \times 1 \times 0,5 \times 0,000026 \times 720 = 0,009 \text{ [falhas/h]}.$$

Observe-se que o número médio de falhas caiu pela metade.

➤ Taxas de falhas dos itens da configuração do equipamento:

Normalmente elas são disponibilizadas pelos fabricantes dos itens. Os fabricantes usam diversos métodos para a sua definição, tais como: ensaios práticos, comparações com similares, cálculos estatísticos usando das taxas de falhas medidas de subitens.

As informações sobre as taxas de falhas são sempre um paradigma no cálculo das quantidades de sobressalentes. Os fabricantes muitas vezes usam cálculos para as taxas de falhas que deixam de considerar muitas situações práticas em que o equipamento estará submetido em campo quando em operação e que em muita das vezes estas situações são tendenciosas em aumentar o número

de falhas que foram originalmente previstas, logo tornando insuficiente o número de sobressalentes adquiridos para atender o sistema instalado e desta maneira provocando queda na disponibilidade esperada. Ultimamente, tem-se observado muito interesse por parte dos fabricantes/ fornecedores em ficarem disponibilizando serviços de manutenção após garantia técnica, condição que tem oferecido um filão comercial no mercado de serviços, Cohen et al (2006). Esse interesse tem levado o analista logístico a tomar maiores cuidados com os dados fornecidos para as taxas de falhas disponibilizadas nas propostas dos fornecedores, evitando desta maneira que as quantidades adquiridas de sobressalentes fiquem em desacordo com as reais necessidades.

e. Dimensionamento das quantidades dos Itens

Segundo o critério adotado pela CISCEA, o dimensionamento das quantidades de unidades dos itens a serem adquiridas e distribuídas para cada escalão como suporte à manutenção segue os critérios aqui definidos e resumidos na Tabela 2.3.

1. Sobressalentes do tipo “C” não são colocados em estoque, portanto os mesmos não serão calculados.
2. Dimensionamento para sítio
 - ✓ C_1 = quantidade calculada pelo método de Poisson para sítio;
 - ✓ C_2 = quantidade calculada pelo método de Poisson para sítio ou 1(um) quando esta for zero.
3. Dimensionamento para Regional
 - ✓ C_3 = a quantidade dimensionada será igual a diferença entre o valor calculado pelo método de Poisson para Regional e o somatório das quantidades distribuídas nos sítios a ele subordinados quando esta diferença for maior que zero, ou um dos casos abaixo:
 - 20% do valor calculado pelo método de Poisson quando este for maior que zero, arredondando para o maior inteiro;
 - 20% do somatório das quantidades distribuídas nos sítios, caso o valor calculado por Poisson seja igual a zero, arredondando para maior inteiro;
 - No mínimo 1 (um) quando o item for crítico.

4. Dimensionamento para o Parque

- ✓ C_4 = a quantidade dimensionada será igual à diferença entre o valor calculado pelo método de Poisson para o Parque e o somatório das quantidades distribuídas nos regionais e sítios quando esta diferença for maior que zero ou um dos casos abaixo:
 - 20% do valor calculado pelo método de Poisson quando este for maior que zero, arredondando para o maior inteiro;
 - 20% do somatório das quantidades distribuídas nos regionais e sítios, caso o valor calculado por Poisson seja igual a zero, arredondando para o maior inteiro;
 - No mínimo 1 (um) quando o item for crítico.

Tabela 2.3 – Critérios para dimensionamento dos Itens Sobressalentes

Itens sobressalentes		Faci Lida de	Crítico			Não crítico		
Tipo	Descrição		Sit.	Reg.	Parq.	Sit.	Reg.	Parq.
A ₀	Eletromecânicos Reparáveis	F	C ₂	C ₃	C ₄	0	C ₃	C ₄
		M	0	C ₃	C ₄	0	C ₃	C ₄
		D	0	0	C ₄	0	0	C ₄
A ₁	Consumíveis	F	C ₂	C ₃	C ₄	0	C ₃	C ₄
		M	0	C ₃	C ₄	0	C ₃	C ₄
		D	0	0	C ₄	0	0	C ₄
A ₂	Tubos e Válvulas	F	C ₂	C ₃	C ₄	0	0	C ₄
		M	0	C ₃	C ₄	0	0	C ₄
		D	0	0	C ₄	0	0	C ₄
A ₃	Componentes de painéis e de Chassis (Exceto os de tipo A1)	F	C ₂	C ₃	C ₄	0	C ₃	C ₄
		M	0	C ₃	C ₄	0	C ₃	C ₄
		D	0	0	C ₄	0	0	C ₄
B	Cartões, conjuntos e subconjuntos (módulos)	F	C ₂	C ₃	C ₄	0	C ₃	C ₄
		M	0	C ₃	C ₄	0	C ₃	C ₄
		D	0	0	C ₄	0	0	C ₄
C	Componentes para reparação de módulos	F	0	0	0	0	0	0
		M	0	0	0	0	0	0
		D	0	0	0	0	0	0
	Equipamentos / unidades	F	0	1	0	0	0	0
		M	0	1	0	0	0	0
		D	0	0	0	0	0	0
C _X = critério de Dimensionamento; F = Fácil; M = Médio; e D = Difícil.								

Fonte: Especificação Logística CISCEA (1994), uso interno.

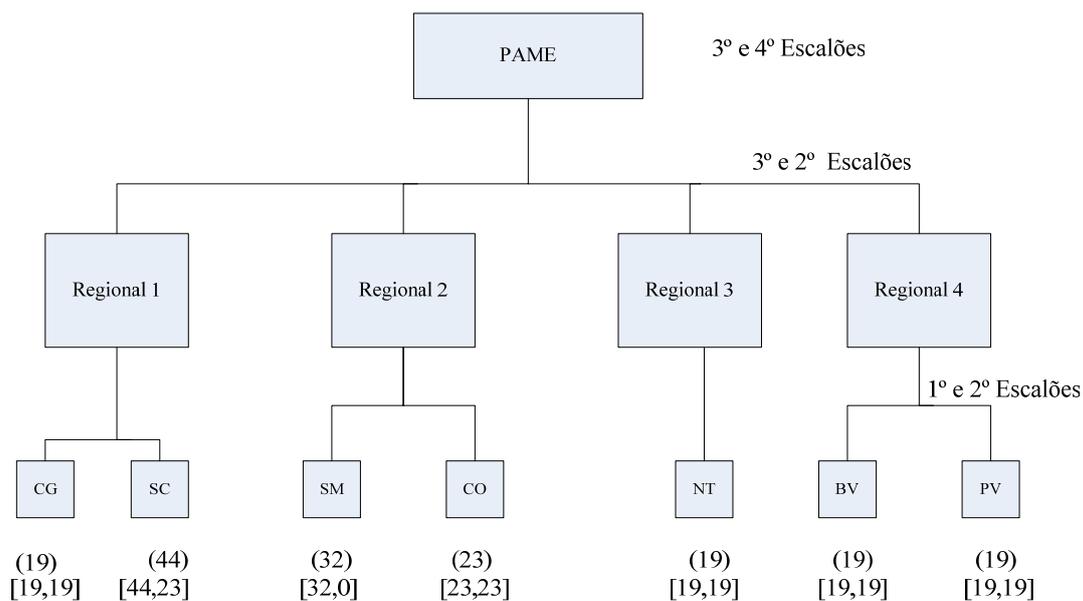
A seguir será apresentado um caso que faz uso da metodologia anteriormente apresentada, utilizando dos conceitos de Poisson, para definir uma lista inicial de itens sobressalentes.

2.5.3

Estudo de caso

O COMAER, visando disponibilizar Sistemas de navegação modernos, designou que a CISCEA emitisse especificações técnicas e logísticas para instruir possíveis fornecedores quanto ao fornecimento de um sistema de rádio para navegação aérea na faixa de VHF para equipar diversos tipos de aeronaves distribuídas em várias Bases aéreas. As especificações foram planejadas, escritas e emitidas dentro dos conceitos técnicos e logísticos em vigor no DECEA para este tipo de projeto.

Na Figura 2.2 está apresentada a estrutura logística que deverá ser preparada com pessoal técnico, laboratórios, documentação técnica, sobressalentes e outros meios ou serviços para suportar à operacionalidade do sistema a ser adquirido.



Nota: (XX) – XX é N° de aeronaves em cada Base. [YY, ZZ] – YY e ZZ são as quantidades de rádios respectivamente dos tipos XT6313D e XT6013 em cada Base.

Figura. 2.2 – Estrutura de Manutenção do Sistema Rádio.

Serão tratados os procedimentos relativos à quantificação e distribuição de um estoque inicial de sobressalentes reparáveis necessários para apoio à operacionalidade da rede de rádios a serem instalada.

A estruturação da manutenção para esta rede de rádios foi definida estar contida nos moldes definidos para a política de manutenção e suprimento em vigor no SISCEAB que está resumidamente apresentada na Figura 2.2.

As especificações logísticas definiram que os equipamentos rádios estarão instalados em aeronaves e estas estão distribuídas em Bases. A seguir são apresentados dados deste Cenário para apoio aos cálculos:

(a) Número de tipo de equipamento por tipo de aeronave

Tipo de rádio	AL-X	F-5BR	AM-X
XT6313D	1	1	1
XT6013	1	1	0

(b) Número de Aeronaves de cada tipo por Base

AERONAVE	BV	CG	PV	SC	CO	SM	NT	Total
AL-X	19	19	19				19	76
F-5BR				23	23			46
AM-X				21		32		53

(c) Tempo de Operação por Tipo de Aeronave por Ano (AOR)

Aeronave	AOR (horas)
AL-X	300
F-5BR	150
AM-X	150

(d) Outros dados

- ✓ Ciclo de vida da aeronave – 30 anos;
- ✓ Números de Regionais – 4;
- ✓ TAT (Turnaround Time) – é de 60 dias o tempo estimado para um equipamento, rádio completo (LRU) em pane ser retirado do sistema e voltar ao estado de disponível; e de 120 dias o tempo estimado para um módulo ou cartão (SRU) em falha voltar ao estado de disponível;
- ✓ Probabilidade de encontrar um item em estoque (Fill Rate) é definida ser de $\geq 90\%$ tanto para LRU quanto para SRU;

(e) Número de Rádios (LRU) instalados de cada tipo por Base

Tipo de Rádio	BV	CG	PV	SC	CO	SM	NT	Total
XT6313D	19	19	19	44	23	32	19	175
XT6013	19	19	19	23	23		19	122

As siglas LRU e SRU anteriormente usadas têm os seguintes significados:

LRU (Line-Replaceable Unit) → mais baixa montagem, parte do sistema rádio, passível de ser substituída na aeronave. Para este sistema, considera o equipamento rádio como LRU.

SRU (Shop-Replaceable Unit) → Unidade substituída em laboratório, subunidade da LRU. Neste sistema são consideradas as placas eletrônicas e módulos internos aos rádios.

(f) Atividades de Manutenção Previstas

As atividades de manutenção são divididas em programadas e não programadas.

As programadas serão feitas pelo esquadrão da Base (Sítio) e pelo Regional correspondente, dependendo do grau de dificuldade previsto.

As não programadas serão feitas pela Base (troca do rádio em falha na aeronave), pelo Regional (reparo do rádio em falha pela troca da placa eletrônica ou módulo em falha) e PAME ou fabricante em Cologne na Alemanha (reparo do cartão ou módulo em falha).

A manutenção no sistema dentro das aeronaves será feita pelo pessoal técnico do Sítio (Esquadrão de Manutenção da Base Aérea). Esta intervenção de primeiro escalão será feita trocando o equipamento rádio (LRU) em falha.

(g) Tempo entre Falhas e Taxa de Falha

Para cada tipo de rádios e módulos a Rohde&Schwarz calculou o seu MTBF conforme definição contida na MIL HDBK 217E, sendo encontrado o seguinte:

- ✓ Para o rádio tipo XT6313D, o MTBF é de 3.169 horas;
- ✓ Para o rádio tipo XT6013, o MTBF é de 4.213 horas.

Para o cálculo do MTBF do rádio tipo XT6313D de 3.169 horas foi considerada a quantidade de horas voadas por ano de cada aeronave (AOR) de 300 horas para os ALX e 150 horas para AMX e F-5BR. A vida útil de cada aeronave é de 30 anos. Isto resultou uma média prevista de 12 intervenções não programadas por ano para esse tipo de rádio.

Adicionalmente devido à necessidade de ajustes programados nos rádios tipo XT6313D, mais 17 intervenções foram programadas por ano no conjunto destes rádios, o que totalizou 29 intervenções entre programadas e não programadas, logo foi refeito o cálculo do MTBF e seu valor passou para 1.317,49 horas, valor este que foi usado para o cálculo das quantidades de sobressalentes.

As taxas de falhas, 1/MTBF, para cada módulo (SRU) dos rádios estão apresentadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – MTBF para os módulos dos Rádios

Nomenclatura dos Módulos	Part Number	MTBF (horas)	Taxa de Falha Prevista ($\times 10^{-6}$ horas)
Radio Control	6086.1515.13	120.192	8.32
Protection Processor	6086.3001.02	12.525	79.84
Synthesizer	6086.4514.02	31.181	32.07
Receiver	6086.9039.02	13.676	73.12
Transmitter Amplifier	6086.7565.02	36.818	27.16
Transmitter Control	6086.8510.03	109.170	9.16
Power Supply	6086.6017.02	29.403	34.01
Interface	6085.8516.05	21.574	46.35
Complete Housing (Chassis)	6085.7010.02	253.807	3.94

Fonte: Proposta Rohde&Schwarz, 2007

Em resumo, os seguintes parâmetros foram usados para calcular a quantidade de sobressalentes a serem adquiridos:

- ✓ Probabilidade de não ruptura de estoque $\geq 90\%$ para LRU e SRU;
- ✓ Número de Regionais: 4;
- ✓ TAT: 60 dias para LRU e 120 dias para SRU;
- ✓ AOR: 300 horas para o AL-X, 150 horas para o F-5BR e AMX;
- ✓ Número de aeronave por base: de acordo com a letra (b);
- ✓ Número de equipamentos (rádios) por aeronave: de acordo com a letra (a);
- ✓ MTBF para o rádio XT 6313D: 1.317,59 horas (MTBF equivalente);

- ✓ MTBF para o rádio XT 6013: 4.213 horas;
- ✓ Tempo médio entre falhas dos rádios foi levantado de acordo com a letra (g);
- ✓ Taxa de falhas para os módulos de ambos os tipos de rádios: de acordo com a Tabela 2.4; e
- ✓ Quantidade mínima de módulos sobressalentes por Regional: 1 unidade.

3. Estoques de Sobressalentes – Modelo CISCEA

Com base no Cenário e nos dados anteriormente apresentados foram calculadas e definidas as quantidades de unidades para cada tipo de item sobressalente a serem estocadas nas localidades pertencentes à estrutura do SISCEAB.

Na Tabela 2.5 estão mostradas as quantidades de sobressalentes e os valores despendidos por localidade e total, usando para cálculo o modelo CISCEA.

Extraindo da Tabela 2.5, vê-se que o preço total do “hardware” dos equipamentos a serem instalados é da ordem de €\$ 22.722.050,00, e que o gasto só com sobressalentes é da ordem de 13,13% deste valor.

Os cálculos efetuados estão memorizados no anexo I a este trabalho.

O modelo atualmente usado pelo SISCEAB tem-se mostrado como um modelo guloso, ou seja, as quantidades por ele calculadas são superdimensionadas, o que conseqüentemente provoca um gasto excessivo na compra de sobressalentes, sem com isto, melhorar proporcionalmente a disponibilidade operacional do sistema. Tem-se observado, em conseqüência das quantidades estocadas e da diminuição da vida útil utilizada dos equipamentos, uma grande sobra de unidades de itens obsoletos em estoque.

Em conseqüência dos fatores negativos apresentados, no Capítulo 3 serão apresentados procedimentos para cálculos e distribuição de sobressalentes usando as técnicas do METRIC (Técnica de Múltiplos Escalões para Controle de Item Reparável) desenvolvidas por estudiosos da RAND Corporation para aplicação pelas Forças Armadas Americana e que se disseminou por várias empresas e organizações governamentais em muitos países. Um modelo baseado nestas técnicas será sugerido como uma alternativa a ser aplicada pelo SISCEAB, desta maneira, melhorando o dimensionamento e distribuição das quantidades de sobressalentes a serem adquiridas, diminuindo os gastos nas compras e ainda proporcionando um aumento na disponibilidade operacional do sistema.