

# **O Desenvolvimento de Projetos Complexos na Rede Corporativa de Comunicação do Exército<sup>1</sup>**

Eduardo Freitas<sup>2</sup>

Luiz Guilherme de Oliveira<sup>3</sup>

## **Resumo**

O presente trabalho trata da aplicação do desenvolvimento do projeto para integração de sistemas junto na área de Tecnologia da Informação (TI) do Exército. Em particular, procura-se mostrar a utilidade da Gestão de CoPS e da Engenharia de Sistemas na definição dos parâmetros de uma Rede de Comunicações de Grande Porte. Para tanto, tomou-se como objeto de estudo a Rede Corporativa de Comunicações do Exército, a “EBNet”, uma das maiores redes dessa natureza no País. Procurou-se analisar o projeto da EBNet à luz das teorias de gestão de TI, através da abordagem de sistemas complexos – CoPS – e Engenharia de Sistemas. Com base na teoria procede-se a uma análise das características da EBNet. Por fim, conclui-se que a abordagem de Gestão de CoPS e a teoria da Engenharia de Sistemas apresentam-se como ferramentas valiosas para o gestor de TI.

## **1. INTRODUÇÃO**

Uma das missões do gestor de Tecnologia da Informação (TI) é o gerenciamento do projeto de sistemas de comunicações. Dentre esses sistemas, destaca-se, por sua complexidade, a chamada Rede de Comunicações de Grande Porte. Planejar, elaborar e executar o projeto de um sistema de grande complexidade não constitui tarefa fácil. Felizmente, a Engenharia de Sistemas (ES) e a Gestão de Produtos e Sistemas Complexos (CoPS) provêm um arcabouço teórico para auxiliar o gestor de TI, principalmente na etapa do planejamento do projeto de sistemas dessa natureza. Um sistema complexo que tenha sido projetado segundo as teorias de ES e de Gestão de CoPS tem grande chance de operar de acordo com suas especificações.

A Gestão de CoPS envolve algumas disciplinas, tais como a Gestão da Integração, a Gestão do Relacionamento Inter-Institucional e a Gestão da Inovação. Por sua vez, a Engenharia de Sistemas engloba uma outra gama de disciplinas, a saber: engenharia de confiabilidade, engenharia de manutenibilidade, engenharia de recursos humanos, engenharia de segurança, engenharia de software, engenharia de operabilidade/fabricabilidade, engenharia de qualidade/simultânea, engenharia de logística, engenharia de custo/valor e engenharia ambiental. Desta forma, este trabalho analisará o projeto de uma Rede de Comunicações de Grande Porte, tomando por objeto a ser analisado a “EBNet” (Rede de Comunicações Estratégica do Exército Brasileiro), à luz da Engenharia de Sistemas e da abordagem sobre Gestão de Sistemas Complexos, a fim de verificar se o projeto dessa rede atendeu os preceitos destas duas teorias.

## **2. A GESTÃO DO DESIGN EM SISTEMAS E PRODUTOS COMPLEXOS (CoPS)**

---

<sup>1</sup> A versão preliminar deste artigo foi apresentado no I Encontro de Administração da Informação – ENADI.

<sup>2</sup> Engenheiro, Programa de Pós-graduação de Administração Universidade de Brasília (PPGA/UnB).

<sup>3</sup> Economista, Professor do Programa de Pós-graduação de Administração Universidade de Brasília (UnB), Coordenador da Linha de Pesquisa de Inovação (PPGA/UnB).

Sistemas e Produtos Complexos (CoPS) são definidos como “bens de capital, sistemas, redes, unidades de controle, pacotes de software, construções e serviços específicos, de alto custo e alta tecnologia”. Assim, o caso da Rede de Comunicações de Grande Porte, no qual se enquadra a EBNet, pode ser classificado como uma rede de produtos e sistemas complexos (CoPS).

A produção (no caso de uma rede de comunicações, a operação) de produtos e sistemas complexos envolve uma dinâmica peculiar e atípica quando comparada com os processos de produção mais tradicionais. A dificuldade na produção, integração e desenvolvimento deste tipo de produto/sistema, talvez seja a característica mais emblemática deste processo produtivo. Daí a importância de uma eficiente Gestão da Integração. É importante salientar que o que vai determinar esta complexidade não é somente o custo e a tecnologia incorporada ao produto, mas também a forma de organização da estrutura de produção/operação e a capacidade de relação entre as instituições envolvidas, implicando na necessidade de uma Gestão do Relacionamento Inter-Institucional. Como descreve Dawkins (2001), o primeiro atributo que poderia nos ocorrer como necessário a um sistema complexo é a heterogeneidade de sua constituição; entretanto, tal heterogeneidade ou “multipartibilidade” pode ser uma condição necessária, mas não é suficiente; um sistema complexo é algo cujas partes constituintes encontram-se arranjadas de tal modo que não seja provável que esse arranjo tenha ocorrido por acaso. Além disso, quanto maior o número de atores envolvidos no projeto, maior a possibilidade de atrito entre eles e maior a necessidade de um design eficiente que possibilite a integração de maneira harmônica entre as partes. Desta maneira, a capacidade de gestão destes atores também caracteriza a complexidade do sistema.

## 2.1. GESTÃO DA INTEGRAÇÃO

Uma Rede de Comunicações de Grande Porte compreende relacionamentos produtivos associados à geração de produtos e sistemas complexos de caráter único e customizado, que requerem a integração de diferentes subsistemas de componentes. Geralmente estas redes são montadas a partir de projetos envolvendo uma diversidade de agentes e instituições, dos quais é possível obter bens extremamente sofisticados. Os produtos gerados possuem um elevado valor (ou custo) unitário e são altamente intensivos em atividades de engenharia e conhecimento, sendo produzidos como itens unitários em função das necessidades de consumidores individuais. A complexidade técnica dos produtos obtidos através destes arranjos - baseados na compatibilização de diferentes subsistemas e da estrutura de hardware e software - requer a integração de conhecimentos e competências extremamente diferenciados (HOBDA, 2000; NIGHTINGALE, 2000; DAVIES & BRADY, 2000; GANN & SALER, 2000), o que pode ser considerado como uma atividade de Gestão da Integração. De fato, a EBNet foi projetada por duas organizações distintas (FREITAS, 2006), o Centro de Desenvolvimento de Sistemas (CDS) e o Centro Integrado de Telemática do Exército (CITEx), o que caracteriza a integração de conhecimentos prevista na Gestão de CoPS.

## 2.2. GESTÃO DO RELACIONAMENTO INTER-INSTITUCIONAL

Conforme já mencionado, a Gestão de Sistema e Produtos Complexos extrapola a questão da complexidade do produto em si e passa a ser considerada também a complexidade das relações entre os atores participantes do processo. Deve ser lembrado ainda, que as relações de troca de informações entre atores endógenos, exógenos e institucionais, visando o desenvolvimento do produto ou sistema, não se dá somente no âmbito do produto, mas também no âmbito do processo de produção, do desenvolvimento técnico e da própria administração; assim, o esquema proposto explode para todas as esferas vinculadas à

produção em si (WANG & TUNZELMANN, 2000). A relação entre a organização e seus fornecedores exige uma possibilidade de troca de informações e competências que permita uma eficiência no desenvolvimento do projeto (BROWNING, 1997), o que pode ser chamado de Gestão do Relacionamento Inter-Institucional. No caso do projeto da EBNet, essa troca de informações foi prevista por meio de diversos mecanismos, como por exemplo a obrigatoriedade de assessoramento contínuo por parte da prestadora da infra-estrutura de comunicações (FREITAS, 2006), conforme transcrito a seguir:

CLÁUSULA DÉCIMA TERCEIRA - A CONTRATADA assistirá ao CONTRATANTE na avaliação, planejamento e direcionamento estratégico dos serviços, cabendo-lhe executar, mediante acordo entre as Partes, dentre outras que possam ser requeridas pelo CONTRATANTE, as seguintes atividades:

- a) assessoramento contínuo ao CONTRATANTE no que se refere a todos os aspectos dos serviços, suas necessidades correntes, avaliação das tecnologias utilizadas e identificação de novas tecnologias que possam ser aplicáveis às necessidades do CONTRATANTE;
- b) fornecimento de recursos técnicos apropriados para dar suporte ao desenvolvimento de um planejamento estratégico e tecnológico das soluções de telecomunicações utilizadas. (BRASIL, 2005b)

Deve-se ressaltar, ainda, que o conceito de complexidade refere-se não apenas ao número de componentes integrados ao produto, mas também e principalmente, à contribuição que a arquitetura, através da qual estes componentes se combinam, exerce para a obtenção de uma melhor performance funcional. Neste sentido, na medida em que o progresso tecnológico avança ao longo do tempo, torna-se possível obter produtos e sistemas cada vez mais complexos. Com isso, a eficiência na gestão das relações inter-institucionais torna-se uma competência essencial para o desenvolvimento deste sistema (HOBDDAY, 2000; NIGHTINGALE, 2000). Esta eficiência exige a construção de canais de comunicação capazes de possibilitar uma troca de informações que permita uma noção clara da etapa de desenvolvimento/operação de cada componente do sistema ou produto. Com relação a esse aspecto, o projeto da EBNet previu diversos mecanismos de comunicação entre o Exército e a empresa prestadora da infra-estrutura de comunicações (FREITAS, 2006), como por exemplo a definição de hierarquias para o relacionamento, transcrito a seguir:

CLÁUSULA QUADRAGÉSIMA SÉTIMA - O CONTRATANTE disponibilizará uma equipe para condução dos processos relativos a este Contrato sob sua responsabilidade.

Parágrafo Primeiro - O CONTRATANTE define 4 (quatro) níveis hierárquicos para relacionamento com a CONTRATADA, que terão pares correspondentes nesta. Os níveis serão numerados de 1 a 4, sendo 1 o nível mais alto. Estes níveis serão utilizados para fins de escalamento, conforme definido na Cláusula Quadragésima Nona, observada a seguinte escala hierárquica:

Nível 1 – Chefe do CITEx e/ou o Ordenador de Despesas.

Nível 2 – Chefe da Divisão Técnica e/ou Chefe da Divisão de Operação.

Nível 3 – Chefe da Seção de Redes da Divisão Técnica.

Nível 4 – Pessoal da Seção de Operação de Rede de Dados e da Seção de Rede Telefônica. (BRASIL, 2005b)

### 2.3. GESTÃO DA INOVAÇÃO

A gestão da inovação é outro aspecto relevante em sistemas complexos. Autores como Davies (1998) sugerem que os CoPS possuem duas fases distintas quando analisado o processo de inovação. Na primeira, é priorizado o desenvolvimento de novos modelos de arquitetura. Nesta fase a arquitetura do design é influenciada de maneira significativa pela rede de fornecedores. A segunda se relaciona à fase de geração de novos produtos e serviços,

onde a quantidade de inovação aumenta e ocorre a introdução sucessiva de novos produtos, serviços e componentes sem alterar fundamentalmente a arquitetura de design já estabelecida. Analisando-se o projeto da EBNet, verifica-se que foram previstos mecanismos para atender a gestão da inovação, como por exemplo a capacidade de expansão da rede por meio de “perfis de pontos”, conforme se observa a seguir:

(...) Para fins de dimensionamento da largura de banda e classificação de tipos e níveis de serviços, os pontos de presença (PP) foram classificados em oito categorias padrão (ALFA, BRAVO, CHARLIE, DELTA, ECHO, FOXTROT, GOLF, HOTEL) e em duas categorias especiais (Especial ALFA e Especial BRAVO) (...)

(...) Os PP com perfis atribuídos em uma das categorias padrão (ALFA, BRAVO, CHARLIE, DELTA, ECHO, FOXTROT, GOLF, HOTEL) deverão suportar, desde a instalação inicial, a expansão temporária ou definitiva da velocidade de acesso até o dobro da contratada, possibilitando a alteração de perfil no PP para o perfil de categoria imediatamente superior, sem que essa expansão implique nova taxa de instalação. Os PP que sofrerem alteração de perfil passam a ser atendidos seguindo as mesmas condições de prazos, níveis de serviço e custo mensal do novo perfil atribuído. As alterações de perfil serão realizadas sempre por solicitação por escrito do CITE<sub>x</sub>, que indicará o PP afetado e se tal alteração é definitiva ou temporária. (BRASIL, 2005a)

Conclui-se, parcialmente, que o projeto da EBNet procurou atender os preceitos da Gestão de CoPS, pois: buscou-se a integração de conhecimentos em organizações distintas na elaboração do projeto da rede; previu-se a troca de conhecimentos entre a prestadora da infraestrutura de comunicações e o Exército; existem canais de comunicação bem definidos entre a prestadora e o Exército; e o conceito de “perfis de pontos” permite a gestão da inovação dos serviços da EBNet, sem alterar a arquitetura do projeto da rede.

### **3. VISÃO GERAL DA ENGENHARIA DE SISTEMAS**

Segundo BLANCHARD (1998, p.1, 2, 5), a complexidade dos sistemas está aumentando cada vez mais e muitos dos novos sistemas desenvolvidos não atendem às necessidades dos usuários em termos de desempenho, eficácia e custo total. Quando se analisam os processos de desenvolvimento desses sistemas, constata-se que a maioria dos problemas observados decorre diretamente da não utilização de uma rigorosa abordagem sistêmica desde o início do projeto. A implementação dos conceitos, princípios e métodos da Engenharia de Sistemas é a melhor maneira de aumentar a eficiência do processo de desenvolvimento, aquisição, operação e manutenção de sistemas complexos.

De uma forma geral, um sistema pode ser entendido como um conjunto de componentes inter-relacionados que atua de forma integrada com o objetivo de desempenhar uma função específica para atender a uma determinada necessidade operacional. Essa visão mais abrangente do que é um sistema mostra claramente que ao se conceber um novo sistema para atender a uma necessidade identificada, deve-se conceber não só o equipamento principal que irá desempenhar a função operacional prevista, mas também todos os outros elementos que compõe o sistema. Além disso, deve-se ter em mente que o custo do sistema engloba o somatório dos custos de todos esses elementos.

O ciclo de vida de um sistema abrange todas as atividades que ocorrem desde a identificação da necessidade de um novo sistema, passando pelas fases de concepção (projeto conceitual); projeto preliminar; projeto detalhado e desenvolvimento; produção; utilização e manutenção; até a desativação (retirada de operação) do sistema e descarte do seu material. Do ponto de vista econômico é importante ressaltar dois aspectos do custo do sistema que estão diretamente relacionados às fases do ciclo de vida e à interação contínua que existe entre essas fases. A primeira diz respeito ao custo total do sistema, ou custo do ciclo de vida, e a

segunda refere-se ao impacto nos custos decorrentes das mudanças realizadas no projeto do sistema.

Com relação ao custo total do sistema, BLANCHARD (1998, p. 3, 4) afirma que frequentemente há uma falta de visibilidade desse custo total. Normalmente, durante os programas de desenvolvimento, só se percebem os custos de obtenção do sistema (custos de pesquisa, projeto, desenvolvimento, testes e produção). Os custos das demais fases do ciclo de vida, como os custos de operação e de manutenção, não são considerados. Por outro lado, a experiência indica que a maior parcela do custo está associada à fase de utilização e manutenção do sistema (podendo atingir até 75% do total).

Com relação ao impacto nos custos decorrentes das mudanças realizadas no projeto, o mencionado autor afirma que estudos têm demonstrado que 70% das decisões que impactam o custo total do ciclo de vida são tomadas na fase do projeto conceitual do sistema. Afirma, ainda, que uma vez que essas decisões foram tomadas, mudá-las posteriormente pode causar um grande impacto no custo do programa de desenvolvimento. Além disso, segundo BLANCHARD (1998, p. 2, 3) quanto mais tarde uma mudança é efetuada, maior será o impacto no custo total. A seguir, após ter sido apresentada a visão geral da Engenharia de Sistemas, o projeto da EBNet será analisado, tendo por fulcro as seguintes disciplinas da ES:

- Engenharia de Confiabilidade;
- Engenharia de Manutenibilidade;
- Engenharia de Operabilidade/Fabricabilidade;
- Engenharia de Qualidade/Simultânea;
- Engenharia de Logística; e
- Engenharia de Custo/Valor.

### 3.1. ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

Uma importante característica de uma Rede de Comunicações de Grande Porte é, sem dúvida, a confiabilidade. Isto é, a rede deve ter condições de cumprir sua missão, permitindo ao Comando da Força exercer efetivo comando e controle, mesmo se partes dela forem destruídas. Dessa forma, a área da Engenharia de Confiabilidade é de grande valia para a ES. Segundo BLANCHARD (1998), a confiabilidade é definida como “a probabilidade de que um sistema desempenhe satisfatoriamente por um dado período de tempo quando operando sob as condições especificadas”. A função básica da confiabilidade,  $R(t)$ , pode ser definida como:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (1.1)$$

onde:

- $R(t)$  é a probabilidade de sucesso no tempo  $t$ ; e
- $F(t)$  é a probabilidade de que o sistema falhe no tempo  $t$ .

$F(t)$  representa a função de distribuição de falhas. Quando se lida com distribuições de falha, deve-se assumir taxas de falha média, de modo a prever o número de falhas em um dado período de tempo. Para auxiliar nessa previsão, a distribuição de Poisson é usualmente aplicada. Essa distribuição é expressa por:

$$P(x, t) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \quad (1.2)$$

onde  $\lambda$  é a taxa média de falhas,  $t$  é o tempo de operação e  $x$  é o número de falhas. A taxa média de falhas é dada por:

$$\lambda = \frac{\text{número total de falhas}}{\text{total de horas de operação}} = \frac{X}{T} \quad (1.3)$$

A expressão de Poisson pode, ainda, ser representada por uma soma de parcelas:

$$1 = e^{-\lambda t} + (\lambda t)e^{-\lambda t} + \frac{(\lambda t)^2 e^{-\lambda t}}{2!} + \frac{(\lambda t)^3 e^{-\lambda t}}{3!} + \dots + \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \quad (1.4)$$

onde:

- $e^{-\lambda t}$  representa a probabilidade de ocorrer zero falha no tempo  $t$ ; e
- $(\lambda t)e^{-\lambda t}$  é a probabilidade de uma falha ocorrer no tempo  $t$ , e assim por diante.

Quando se deseja que o sistema tenha grande confiabilidade, o primeiro termo da expressão de Poisson torna-se de grande significado. Esse termo, representando a chamada “distribuição exponencial”, é freqüentemente considerado como a base para especificar, prever e medir a confiabilidade de um sistema. Assim, substituindo-se o primeiro termo da equação 1.4 na equação 1.1, chega-se à seguinte equação para a confiabilidade:

$$R = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-t/M} \quad (1.5)$$

onde  $M$  é o chamado MTBF (Tempo Médio Entre Falhas). Lembrando que  $t$  é o tempo de operação do sistema, e considerando uma taxa de falha constante  $\lambda$ , temos que, quando o tempo de operação do sistema é equivalente ao MTBF, então  $t = M$ . Logo,

$$R = 1 - e^{-M/M} = 1 - e^{-1} \approx 0,63 \quad (1.6)$$

Ou seja, quando o tempo de operação contínua do sistema é igual ao MTBF, a probabilidade de que não ocorra nenhuma falha no sistema é de 63%, o que, para sistemas complexos, é considerado adequado (BLANCHARD, 1998).

Embora a confiabilidade da rede EBNet, objeto deste estudo, não tenha sido calculada de forma teórica, o seu funcionamento no últimos cinco anos de operação, praticamente sem interrupções, permite afirmar que o seu projeto atendeu aos pressupostos da Engenharia de Confiabilidade.

### 3.2. ENGENHARIA DE MANUTENIBILIDADE

Outra área de grande valia na análise da EBNet é a Engenharia de Manutenibilidade, a qual, segundo BLANCHARD (1998), é definida como:

Manutenibilidade é a capacidade de um sistema ser mantido, enquanto manutenção constitui as ações tomadas para restaurar um sistema às (ou manter um sistema nas) condições de operação especificadas. (BLANCHARD, 1998)

Ainda segundo o mesmo autor “manutenibilidade é um parâmetro de projeto, enquanto manutenção é o resultado do projeto”. Portanto, Manutenibilidade é uma característica do projeto do sistema relacionada com a facilidade, precisão, segurança e

economia no desempenho das ações de manutenção. Assim, um sistema deve ser projetado de tal maneira que possa ser mantido sem um grande investimento em tempo e recursos (pessoal, materiais, equipamentos de teste, instalações, dados, etc), e com um custo mínimo, enquanto ainda atende a missão para a qual foi projetado.

A manutenção abrange duas categorias: a corretiva e a preventiva, as quais são definidas como se segue:

- **manutenção corretiva:** são as ações não programadas, iniciadas como resultado de falhas no sistema, necessárias para restaurar um sistema ao nível de desempenho para o qual foi projetado; e
- **manutenção preventiva:** são as ações programadas, necessárias para manter um sistema em um nível de desempenho para o qual foi projetado.

Dentro desta disciplina, um importante conceito é o Tempo Total de Manutenção (TTM), que é “o período de tempo necessário para reparar e recuperar um sistema ao seu nível de desempenho especificado, ou manter um sistema naquelas condições”. O TTM é definido, ainda, pela expressão:

$$TTM = \bar{M} + TAL + TAA \quad (1.7)$$

onde as parcelas são:

- **Tempo de Manutenção Ativa ( $\bar{M}$ ):** é o tempo em que as atividades de manutenção corretiva ou preventiva estão ocorrendo. Esse termo é expresso como:

$$\bar{M} = \frac{(\lambda)(\overline{Mct}) + (fpt)(\overline{Mpt})}{\lambda + fpt} \quad (1.8)$$

onde:

- $\overline{Mct}$  é o tempo médio de manutenção corretiva;
- $\overline{Mpt}$  é o tempo médio de manutenção preventiva;
- $fpt$  é a frequência de manutenção preventiva; e
- $\lambda$  é a taxa de falha (ou frequência da manutenção corretiva).

- **Tempo de Atraso Logístico (TAL):** é a porção do tempo em que o sistema não está operacional devido a atrasos associados com a capacidade de suporte (por exemplo, espera por uma peça de reposição, espera pela disponibilidade de um equipamento de teste, espera pelo uso de uma instalação especial, etc); e

- **Tempo de Atraso Administrativo (TAA):** é a porção do tempo em que a manutenção é atrasada por razões de natureza administrativa (por exemplo, a indisponibilidade de pessoal devido a outras prioridades, imposições da organização, etc).

O tempo médio de manutenção corretiva ( $\overline{Mct}$ ), por sua vez, é expresso por:

$$\overline{Mct} = \frac{\sum (\lambda_i) Mct_i}{\sum (\lambda_i)} \quad (1.9)$$

onde:

- $Mct_i$  representa o tempo de manutenção corretiva em uma determinada ação  $i$ , e
- $\lambda_i$  é a correspondente taxa de falha.

No caso de um número fixo de ações de manutenção,  $n$ , então:

$$\overline{Mct} = \frac{\sum_{i=1}^n Mct_i}{n} \quad (1.10)$$

Neste caso, o  $\overline{Mct}$  é equivalente a um importante parâmetro conhecido como Tempo Médio para Reparo (MTTR – *Mean Time To Repair*), uma medida comumente usada no estudo da manutenção. O tempo médio de manutenção preventiva,  $\overline{Mpt}$ , é calculado de maneira análoga.

Um outro parâmetro significativo no estudo da manutenibilidade de um sistema é o Tempo Médio Entre Manutenção (TMEM), que é o tempo de plena operação do sistema, sem nenhuma falha.

Assim, chega-se a um indicador de grande importância no estudo da manutenibilidade de um sistema, a Disponibilidade (D), calculada da seguinte forma:

$$D = \frac{TMEM}{TMEM + TTM} \quad (1.11)$$

Em particular, no projeto da EBNet, o tempo de manutenção preventiva foi previsto da seguinte forma, de acordo com a Minuta de Contrato:

Parágrafo Único - Serão estabelecidos 6 (seis) períodos anuais de crédito programados (crédito de horas de indisponibilidade) de, no máximo, 6 (seis) horas cada, os quais não serão contabilizados como período de indisponibilidade, para que sejam utilizados como janelas para manutenção preventiva. A utilização de tais janelas para manutenção deve ser planejada com o CITEx com antecedência mínima de 15 (quinze) dias, e utilizar preferencialmente horários de baixo tráfego. (BRASIL, 2005b)

Uma vez que são previstos 6 períodos anuais, pode-se considerar que haverá um período a cada 2 meses. Logo:

- tempo total de manutenção (TTM): 6 horas;
- período sem manutenção (TMEM):  $2 \times 30 \times 24 = 1440$ ;

$$D = \frac{1440}{1440 + 6} = \frac{1440}{1446} = 99,58\% \quad (1.12)$$

Assim, 99,58% é a disponibilidade teórica esperada para a rede, considerada como um todo. É evidente que, havendo manutenção corretiva, a disponibilidade será menor. No entanto, o SLA (Anexo B) define, para perfis do tipo ALFA, por exemplo, uma disponibilidade de 99,9% para os circuitos, acima da disponibilidade teórica. Portanto, verifica-se que o projeto da EBNet previu um elevado requisito de disponibilidade, atendendo ao que preconiza a Engenharia de Manutenibilidade.

### 3.3.ENGENHARIA DE OPERABILIDADE/FABRICABILIDADE

A área de Engenharia de Fabricabilidade é mais frequentemente empregada para itens que são produzidos em série. No caso de uma Rede de Comunicações de Grande Porte, como a EBNet, os mesmos fundamentos dessa disciplina poderão ser aplicados com relação à operabilidade. Segundo BLANCHARD (1998), fabricabilidade (operabilidade) é definida como: “a medida da facilidade e economia de produzir (operar) um sistema ou produto”.



Assim, as características de projeto de um sistema devem ser tais que permitam sua fabricação/operação de forma simples e econômica. Para tanto, alguns requisitos devem ser atendidos ao se projetar um sistema. Tais requisitos serão apresentados a seguir e será mostrado que a atual EBNet foi concebida de forma a atendê-los, o que a habilita a operar como Rede Estratégica de Comunicações.

### **3.3.1. Simplicidade e flexibilidade**

Segundo BLANCHARD (1998), “os objetivos fundamentais de um projeto devem ser a simplicidade e flexibilidade”. De fato, em um sistema complexo por natureza, como a EBNet, deve-se buscar soluções que simplifiquem ao máximo o projeto. Nesse sentido, o projeto da EBNet, ao especificar a tecnologia básica como sendo o MPLS, simplificou a construção da rede, pois, entre as vantagens do MPLS em relação aos demais protocolos está a facilidade de implementação da rede. Outro aspecto que caracteriza a simplicidade é a convergência de dados, voz e videoconferência, compartilhando a banda de transmissão da rede. Além disso, o conceito de “perfil de ponto”, proporciona uma grande flexibilidade ao Exército, quanto às alterações na rede (*upgrade*<sup>i</sup> de ponto, instalação de pontos temporários etc). Assim, fica claro que os requisitos de simplicidade e flexibilidade foram atendidos no projeto da EBNet.

### **3.3.2. Componentes**

Esse requisito estabelece que “a quantidade e variedade de componentes utilizados no sistema devem ser minimizados” (BLANCHARD, 1998). A EBNet foi concebida de forma a adotar um único fornecedor para a sua infra-estrutura de comunicações. No caso, a empresa Embratel foi contratada para fornecer toda a infra-estrutura necessária para a rede. Dessa forma, todo o relacionamento do Exército se dá diretamente com uma única empresa, que, por sua vez, é responsável pela totalidade da infra-estrutura contratada para a rede de comunicações. Isso vem a facilitar tremendamente a gerência da rede, bem como a cobrança dos requisitos de Qualidade de Serviço (SLA) previstos no projeto. Além disso, para o Exército, a EBNet é vista como um único e monolítico componente.

### **3.3.3. Padronização**

Segundo esse requisito “itens comuns e padronizados devem ser selecionados quando possível” (BLANCHARD 1998). Os principais equipamentos da EBNet, os roteadores de borda, são todos de um único fabricante, no caso, a empresa CISCO SYSTEMS, o que vem a comprovar o atendimento a esse objetivo. Esse aspecto também é atendido com relação à tecnologia da rede, o MPLS, uma vez que ela foi padronizada para a totalidade da rede. Isso significa uma imensa vantagem no gerenciamento da rede, uma vez que os softwares de gerenciamento são adaptados ao tipo de equipamento que é gerenciado. Além disso, reduz o custo do treinamento do pessoal, pois eles devem-se capacitar a operar um único tipo de equipamento e conhecer uma única tecnologia. E mais, é possível adquirir equipamentos CISCO de diversos fornecedores. Portanto, verifica-se que o projeto da EBNet procurou atender o requisito de padronização, o que facilita sua operação como Rede Estratégica de Comunicações.

### **3.3.4. Fornecedores**

Segundo esse requisito “deve haver um número razoável de fornecedores disponíveis durante o ciclo de vida do sistema” (BLANCHARD 1998). De fato, a realização do pregão que levou a contratação da infra-estrutura da EBNet provou que existem pelo menos três fornecedores para a rede: a Embratel (que ganhou o certame), a Brasil Telecom e a Intelig. Tal comprovação se deu pela participação dessas empresas no pregão. Com isso, caso haja algum problema com o atual prestador do serviço de infra-estrutura, há a possibilidade de se realizar um novo pregão e, eventualmente, contratar um outro prestador. Isso representa uma grande vantagem para o Exército, pois a atual prestadora sabe que deve cumprir rigorosamente os termos do contrato, de forma a permanecer como contratada. Além disso, traz uma garantia de que, em caso de rescisão contratual com a atual prestadora do serviço, o Exército poderá contratar outra, mantendo a Rede Estratégica de Comunicações sem solução de continuidade.

### **3.3.5. Montagem/desmontagem**

As características do projeto devem permitir uma montagem e desmontagem fáceis do sistema. O projeto especificou que um ponto de presença deverá ser instalado em qualquer ponto do território nacional, em no máximo 45 dias, devendo ser desinstalado quando o Exército solicitar. Com isso, assegura-se que a rede é totalmente flexível, ou seja, “monta-se” e “desmonta-se” qualquer ponto a critério do Exército. A seguir, transcreve-se o trecho do Termo de Referência do Objeto relacionado com este requisito:

A CONTRATADA deverá estar apta a conectar à Rede IP Multisserviços qualquer Organização Militar (OM) do Exército localizada no território nacional, seguindo um dos perfis contratados e dentro dos prazos estipulados para instalação, admitindo-se consórcios e a sub-contratação de outras operadoras;  
(...) A CONTRATADA deverá estar apta ainda a conectar à Rede IP Multisserviços Pontos de Presença temporários localizados em qualquer ponto do território nacional, mediante solicitação do CITEEx, seguindo um dos perfis contratados e nas mesmas condições de preço, prazos e níveis de serviço dos Pontos de Presença fixos de perfil equivalente, a fim de atender a necessidades específicas relacionadas ao emprego ou ao adestramento da Força Terrestre. (BRASIL, 2005a)

Além disso, a Minuta do Contrato estabelece o seguinte:

Parágrafo Sexto – Durante a vigência deste Contrato, o CONTRATANTE poderá solicitar à CONTRATADA a ativação ou desativação de serviços em qualquer PP, tomando-se por base os preços unitários praticados para aquele ponto. (BRASIL, 2005b)

Portanto, verifica-se que o projeto da EBNet atende ao requisito de montagem/desmontagem, propiciando flexibilidade para a Rede de Comunicações.

## **3.4. ENGENHARIA DE QUALIDADE/SIMULTÂNEA**

O conceito de qualidade ganhou um grande impulso nos últimos anos, impulsionado pelo Departamento de Defesa (DoD) dos EUA, o qual defende o conceito de Gerenciamento pela Qualidade Total (TQM – *Total Quality Management*). Segundo BLANCHARD (1998), o TQM é definido como “uma abordagem de gerenciamento integrado que busca a qualidade do sistema durante todas as fases do ciclo de vida (...). Ela provê uma orientação pró-ativa da qualidade, e aborda desde o projeto e desenvolvimento do sistema, passando pela produção, montagem, apoio logístico e outras funções.”

Ainda segundo BLANCHARD (1998), o reconhecimento da importância dessa abordagem conduziu ao desenvolvimento do conceito de Engenharia Simultânea, o qual

estabelece que um sistema deve ser projetado, desde o início, considerando as três grandes etapas do ciclo de vida do sistema: desenvolvimento, produção e apoio logístico integrado.

A EBNet foi desenvolvida por um Grupo de Trabalho composto pelo Centro de Desenvolvimento de Sistemas do Exército (CDS), que possui pessoal experimentado em desenvolvimento, juntamente com o pessoal do Centro Integrado de Telemática do Exército (CITEx), que possui pessoal com experiência na operação da rede (produção). Fruto desse trabalho conjunto, foram elaborados os dois documentos que especificam a EBNet: o Termo de Referência do Objeto (BRASIL, 2005a) e a Minuta de Contrato (BRASIL, 2005b). Os dois documentos abordam aspectos do desenvolvimento (projeto e implantação da rede), da operação e do apoio logístico integrado. Com relação ao desenvolvimento, o TRO e a MC especificam: a tecnologia da rede; as classes de serviços; os perfis de pontos; as velocidades dos pontos; os serviços de voz e videoconferência; os requisitos de segurança; os tipos de tráfego; o plano de numeração; o *backbone*; a última milha; e outros aspectos. Com relação à operação, o TRO e a MC especificam: o gerenciamento; o relacionamento entre as partes; os níveis de serviço (SLA); a participação de militares na empresa; os procedimentos contra invasão, etc. Com relação ao apoio logístico integrado, o TRO e a MC especificam: as centrais de atendimento; o *benchmarking*; os relatórios; as auditorias; a manutenção preventiva; a manutenção corretiva; o treinamento; etc.

Portanto, pode-se dizer que a EBNet foi projetada buscando-se aplicar os conceitos de Engenharia Simultânea.

### 3.5.ENGENHARIA DE LOGÍSTICA

A Engenharia de Logística tem por finalidade realizar o planejamento do chamado Apoio Logístico Integrado (ILS – *Integrated Logistic Support*). O ILS, por sua vez, de acordo com o Manual de Engenharia de Sistemas (*Systems Engineering Handbook*), da NASA, tem por objetivo: “assegurar que o sistema será apoiado durante as fases de desenvolvimento e de operação, dentro do custo previsto” (NASA, 2002). Negligenciar o ILS, ou tomar equivocadas decisões quanto ao ILS, implica, invariavelmente, em efeitos adversos para o custo do ciclo de vida do sistema. O escopo do ILS inclui os seguintes elementos:

- **Manutenção:** é o processo de planejar e executar os serviços/reparos durante o ciclo de vida do sistema e os requisitos necessários para assegurar a operação sustentada do sistema.
- **Interface com o projeto:** é a interação e o relacionamento da engenharia de logística, dentro do processo de engenharia de sistemas, de modo a assegurar que a logística irá influenciar o projeto de modo a reduzir o custo do ciclo de vida do sistema.
- **Dados técnicos:** são as informações científicas, técnicas e de custo usadas para definir, produzir, testar, avaliar, modificar, implantar, apoiar e operar o sistema.
- **Treinamento:** são os processos, procedimentos, dispositivos e equipamentos necessários para treinar o pessoal na operação e suporte do sistema.
- **Apoio de suprimento:** são as ações necessárias para prover todo o material necessário para assegurar a suportabilidade do sistema.
- **Equipamentos de teste e suporte:** são os equipamentos necessários para facilitar o desenvolvimento, produção e operação do sistema.
- **Transporte e manuseio:** são as ações, recursos e métodos necessários para assegurar o adequado movimento, manuseio, embalagem e estocagem dos componentes do sistema e materiais.
- **Planejamento de recursos humanos:** são as ações necessárias para determinar o grupo mais habilitado, considerando os custos atuais e futuros em operação, manutenção, engenharia e administração.
- **Instalações:** conjunto de construções necessárias para desenvolver e operar o sistema.

O planejamento do Apoio Logístico Integrado deve ser feito desde o início do projeto e deve ser documentado em um Plano de Apoio Logístico Integrado (ILSP). Esse plano descreve quais atividades de ILS estão previstas e como elas serão conduzidas e integradas dentro da engenharia do sistema. O ILSP geralmente contém as seguintes seções:

- Plano de Manutenção;
- Plano de Treinamento de Pessoal;
- Plano de Suprimento;
- Plano de Equipamentos de Teste e Suporte;
- Plano de Dados Técnicos;
- Plano de Transporte e Manuseio;
- Plano de Instalações; e
- Plano de Descarga.

No caso do projeto da EBNet, analisando-se o Termo de Referência do Objeto (TRO) e a Minuta de Contrato (MC), verificou-se que vários elementos do Apoio Logístico Integrado foram satisfeitos. Com relação à manutenção da EBNet, foi prevista uma rigorosa manutenção da rede, a cargo da prestadora, de acordo com o SLA, conforme as cláusulas a seguir, extraídas da MC:

CLÁUSULA DÉCIMA NONA - A CONTRATADA compromete-se a prestar os serviços de acordo com os Níveis de Serviço estabelecidos nos Documentos Nr 03 e 04.

(...) CLÁUSULA VIGÉSIMA - A CONTRATADA manterá os serviços disponíveis durante as 24 (vinte e quatro) horas do dia, 7 (sete) dias por semana. Caso haja necessidade de interrupção, a CONTRATADA deverá comunicar ao CONTRATANTE com antecedência mínima de sete dias. (BRASIL, 2005b)

E o TRO define ainda o seguinte, com relação à manutenção:

A CONTRATADA deverá fornecer os CPEs e a sua manutenção, a fim de garantir os níveis de serviço contratados. O preço deverá contemplar o fornecimento e a manutenção desses equipamentos;

(...) A CONTRATADA será responsável pelos serviços de configuração e gerenciamento até a porta LAN de seus CPEs, de forma a garantir o nível dos serviços contratados; (BRASIL, 2005a)

Com relação ao treinamento de pessoal, foi previsto no TRO a participação de técnicos do Exército no interior das instalações de gerenciamento da prestadora, de forma a obter *know-how*, conforme transcrito a seguir:

(...) a CONTRATADA deverá franquear, em seus centros de operações e gerenciamento de redes, acesso e infra-estrutura de trabalho para, no mínimo, 04 (quatro) técnicos do Exército, contemplando, no mínimo: mesas, cadeiras, tomadas elétricas, pontos de rede local, acesso à Internet e linhas telefônicas de uso exclusivo;

(...) os técnicos do Exército mencionados no item anterior deverão trabalhar em conjunto com os técnicos da CONTRATADA, durante o tempo que for julgado necessário pelo Exército, a fim de conhecer, com precisão, como funciona o gerenciamento e operação das redes e serviços fornecidos ao Exército. O Quadro de Trabalho será elaborado em conjunto com o Exército, de modo a não interferir no trabalho normal da CONTRATADA;

(...) toda instalação e configuração inicial dos CPEs deverá ser efetivada/coordenada pela equipe técnica da CONTRATADA, com a supervisão de técnicos do Exército; (BRASIL, 2005a)

Com relação ao suprimento, a MC prevê que a responsabilidade do suprimento é da prestadora, desonerando o Exército dessa missão, como se verifica a seguir:

Parágrafo Terceiro – A CONTRATADA compromete-se a fornecer todo o material, pessoal, ferramentas, equipamentos, instrumentos, maquinário, transporte e outros itens necessários para a prestação dos serviços. (BRASIL, 2005b)

Com relação aos Dados Técnicos, o TRO define, entre outros, o seguinte:

A CONTRATADA deverá apresentar as plantas detalhadas da rede contratada, com o traçado de todas as rotas e localização dos principais nós, incluindo a última milha. Tal detalhamento inclui: os percursos das ligações, rodovias ou outros meios utilizados para a passagem de fibra óptica e as rotas dos enlaces de rádio digital. Também deverá apresentar as plantas com indicações dos acessos físicos e nós da rede em Brasília; (BRASIL, 2005a)

Portanto, verifica-se que, no projeto da EBNet, procurou-se atender aos requisitos da Engenharia de Logística, contemplando diversos elementos previstos pelo Apoio Logístico Integrado.

### 3.6.ENGENHARIA DE CUSTO/VALOR

A EBNet constitui um vultoso investimento financeiro do Exército. Nesse aspecto, surge a Engenharia de Custo/Valor como outra importante área a ser estudada. Cabe lembrar que BLANCHARD (1998) ressalta que a “visibilidade do custo total é essencial”, isto é, deve-se prever o custo de um sistema **ao longo de todo o seu ciclo de vida**. No caso da EBNet, pode-se considerar que ela possui um ciclo de vida associado ao tempo de contrato do prestador da infra-estrutura de comunicações. A Lei Nr 8.666 prevê que um contrato pode ser prorrogado até um período máximo de sessenta meses, conforme transcrito a seguir:

Art. 57. A duração dos contratos regidos por esta Lei ficará adstrita à vigência dos respectivos créditos orçamentários, exceto quanto aos relativos:  
(...) II - à prestação de serviços a serem executados de forma contínua, que poderão ter a sua duração prorrogada por iguais e sucessivos períodos com vistas à obtenção de preços e condições mais vantajosas para a administração, limitada a sessenta meses; (Redação dada pela Lei nº 9.648, de 1998) (BRASIL, 2006c)

Resulta, assim, em um tempo total de contrato de cinco anos. Com base no resultado do pregão 16/2005-CITEx, foi possível montar a Planilha de Julgamento (FREITAS, 2006), estimando o custo do ciclo de vida da EBNet. A tabela 1 mostra o custo estimado da EBNet ao longo de cinco anos de contrato.

**Tabela 1 - Custo da EBNet ao longo do ciclo de vida (R\$)**

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Custo do contrato (previsão)	3.020.321	5.157.334	6.952.347	9.288.578	12.011.420
Total do contrato após 5 anos (Custo do Ciclo de Vida)					36.430.000

Fonte: FREITAS, 2006

O custo da EBNet antiga, ou seja, antes do pregão 16/2005-CITEx, era composto pelos custos dos diversos contratos das redes regionais e mais o custo do contrato do segmento principal, conforme mostra a tabela 2.

**Tabela 2 - Custo da EBNet antiga.**

SEGMENTO	CUSTO ANUAL (R\$)
Principal	2.528.553,12

1º CTA (3ª RM)	540.000,00
2º CTA (1ª RM)	112.519,80
3º CTA (2ª RM)	168.000,00
4º CTA (12ª RM)	480.000,00
5º CTA (7ª RM)	94.800,00
6º CTA (9ª RM)	76.800,00
7º CTA (11ª RM)	93.820,68
11º CT (5ª RM)	180.000,00
21º CT (4ª RM)	96.600,00
41º CT (8ª RM)	85.200,00
51º CT (6ª RM)	36.000,00
52º CT (10ª RM)	182.004,72
<b>TOTAL</b>	<b>4.674.298,32</b>

Fonte: FREITAS, 2006

Portanto, caso fossem mantidos os contratos antigos da EBNet, o seu custo total, ao longo de cinco anos, seria de:

$$4.674.298,32 \times 5 = 23.371.491,60 \quad (1.13)$$

Comparando-se o custo da EBNet atual com o custo do contrato anterior, verifica-se que o novo contrato é mais custoso, conforme apresentado na figura 5.

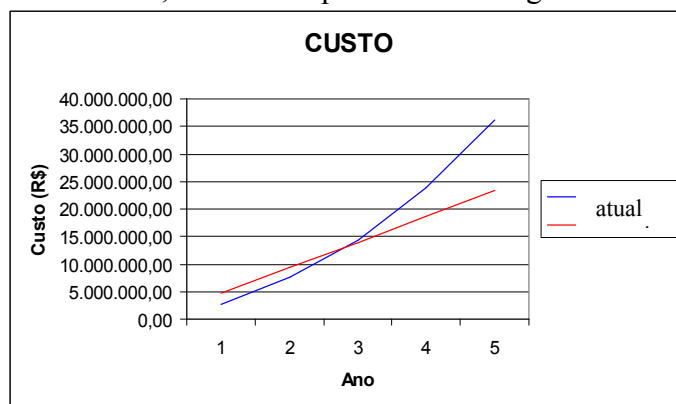


Figura 1 - Comparação do custo da EBNet atual com a anterior.

Fonte: FREITAS, 2006.

No entanto, o custo, por si só, não é suficiente para amparar uma decisão de projeto. É necessário verificar a relação custo/benefício. O benefício, por sua vez, é um fator que deve ser escolhido por sua significação para o sistema em estudo. No caso da EBNet, um adequado fator a ser escolhido como benefício do sistema é o número de OM integradas pela rede, o que pode ser chamado de **Capacidade de Integração**. A tabela 3 mostra a estimativa do número de OM a serem integradas pela EBNet ao longo de cinco anos de contrato.

**Tabela 3 - Estimativa da integração de novos pontos à EBNet**

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
OM integradas (acrescidas)	83	79	64	90	86
Total de OM integradas					402

Fonte: FREITAS, 2006

Por outro lado, os contratos anteriores não previam acréscimo de pontos à EBNNet. Lembrando que o número de pontos da EBNNet antiga era de 65 (sessenta e cinco), essa seria a quantidade a ser mantida pelos contratos anteriores. Dessa forma, pode-se verificar que o benefício, em termos de capacidade de integração, é maior na EBNNet atual do que na anterior, conforme mostra a figura 6.

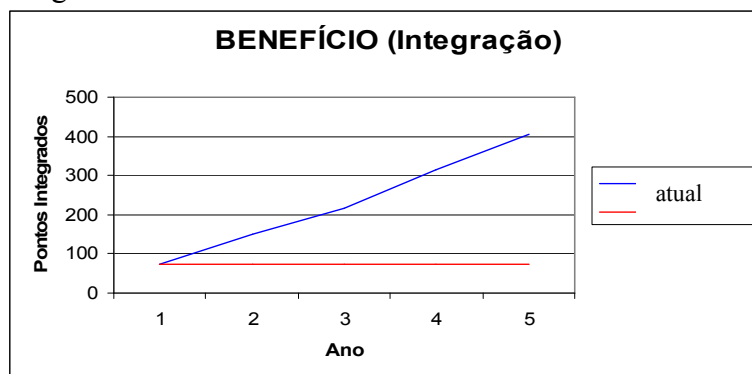


Figura 2 - Comparação do benefício EBNNet atual com a anterior.

Fonte: FREITAS, 2006

Dividindo-se, agora, os valores da tabela de custo, pelos valores da tabela de benefício, chega-se à relação custo/benefício, que representa o custo por ponto, ao longo de cinco anos de contrato, mostrada na figura 7.

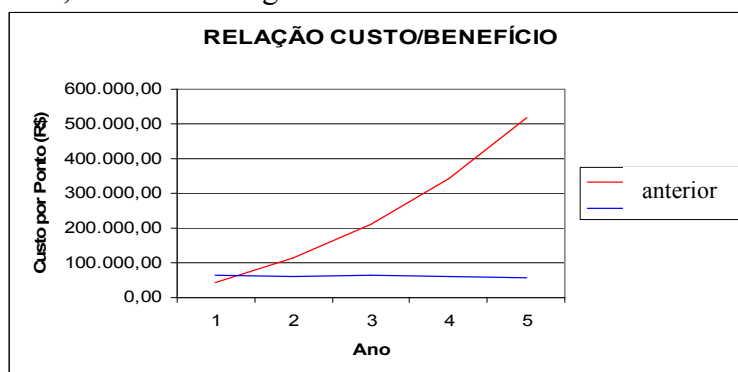


Figura 3 - Comparação da relação custo/benefício atual com a anterior.

Fonte: FREITAS, 2006

Verifica-se, assim, que a relação custo/benefício representada pela EBNNet, após a reestruturação, mantém um patamar aproximado de R\$ 50.000,00 por ponto instalado, possibilitando sua expansão sem aumento significativo no custo por ponto. Portanto, o projeto da EBNNet levou em consideração a Engenharia de Custo/Valor, importante para viabilizar seu emprego como uma Rede Estratégica de C4.

#### 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho procurou mostrar a utilidade da Engenharia de Sistemas e da Gestão de CoPS como ferramentas para o gestor de TI, em particular para a gestão de projetos complexos, como as chamadas Redes de Comunicações de Grande Porte.

Fruto da análise realizada na rede objeto de estudo, a “EBNNet”, chegou-se à seguinte síntese: a Engenharia de Sistemas e a Gestão de CoPS podem e devem ser utilizadas como ferramentas, pelo gestor de TI, para a definição de parâmetros na fase de projeto de sistemas de grande complexidade, de forma a assegurar que o sistema venha a funcionar da forma como foi especificado.

De fato, à luz da teoria da Engenharia de Sistemas e da Gestão de CoPS, o projeto da EBNNet atendeu os preceitos das duas teorias, pois:

- buscou-se a integração de conhecimentos em organizações distintas;
- previu-se a troca de conhecimentos;
- existem canais de comunicação bem definidos;
- conceito de “perfis de pontos” permite a gestão da inovação dos serviços da EBNNet;
- a confiabilidade da EBNNet é elevada;
- a disponibilidade é adequada a uma rede de grande porte;
- a EBNNet possui boas condições de operabilidade;
- buscou-se atender aos princípios da Engenharia Simultânea no projeto da EBNNet;
- procurou-se planejar os elementos do Apoio Logístico Integrado; e
- a relação custo/benefício da EBNNet, ao longo de todo o ciclo de vida, é excelente.

A Engenharia de Sistemas é uma ferramenta poderosa nas mãos do gestor de TI, embora deva ser ressaltado que seu emprego é previsto para o caso de projetos de sistemas de grande complexidade. Para sistemas simples, não se aconselha o emprego da Engenharia de Sistemas. Além disso, o desenvolvimento da capacidade de gestão está-se constituindo, cada vez mais, no principal ativo estratégico da organização. É importante salientar que é no âmbito da gestão que o design ganha mais importância.

## REFERÊNCIAS

BLANCHARD, B. S. **Systems Engineering Management**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. **Systems Engineering and Analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, Inc., 1981.

BRASIL. Exército Brasileiro. Centro Integrado de Telemática do Exército. **Termo de Referência do Objeto ao Edital do Pregão Nr 16/2005 – CITEx**. Brasília, 2005(a).

\_\_\_\_\_. Exército Brasileiro. Centro Integrado de Telemática do Exército. **Minuta de Contrato ao Edital do Pregão Nr 16/2005 – CITEx**. Brasília, 2005(b).

\_\_\_\_\_. Presidência da República. **Lei 8.666**. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L8666cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.htm)>. Acesso em: 15 Set 2006(c).

BROWNING, T.. “Exploring Integrative Mechanism with a View Design for Integration”. In: **Advances in Concurrent Engineering** – CE 97, Aug.20-22, 1997.

DAVIES, A. & BRADY, T. Organisational capabilities and learning in complex product systems: toward repeatable solutions. In: **Research Policy**, vol. 29, n. 7-8, UK, 2000.

DAVIES, A.. “The Life cycle of a complex product system”. In: **International Journal of Innovation Management** 1 (3), 1998.

DAWKINS, R.. **O relojoeiro cego: A teoria da evolução contra o desígnio divino**. Ed. Cia das Letras, SP/SP, 2001.



FREITAS, J. E. F. **EBNet: a Rede Estratégica de C4 do Exército**. Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2006.

GANN, D.M. & SALTER A.J. Innovation in project-based, service-enhanced firms: the construction of complex products and systems. In: **Research Policy**, vol. 29, n. 7-8, UK, 2000.

HOBDDAY, M.. “Special Issue: Innovation in Complex Products and Systems”. In: **Research Policy**, Vol. 29, 2000.

NASA. **Systems Engineering Handbook**. *National Aeronautics and Space Administration*, 1995.

NATHINGALE, P. The product-process-organization relationship in complex development projects. In: **Research Policy**, vol. 29, n. 7-8, UK, 2000.

WANG, Q.; Von TUNZELMANN, N.. **Complexity and the functions of the firm: breadth and depth**. In: *Research Policy*, Vol. 29, 2000.

---

<sup>i</sup> Mudança do perfil de um ponto para outro perfil superior. Por exemplo, Foxtrot (512 kbps) para Echo (1 Mbps).