



Conceito de sistemas e histórico

As principais definições de sistemas e da Engenharia de Sistemas, a Teoria Geral dos Sistemas, os principais conceitos aplicados a sistemas e projetos e os vínculos da Engenharia de Sistemas com a gerência de projetos.

Prof. Clóvis Eduardo Godoy Ilha

Propósito

Os conceitos que fundamentam a Teoria Geral dos Sistemas permitem compreender as relações entre os diferentes ramos do conhecimento. Dessa compreensão surge a Engenharia de Sistemas. O profissional que entende os princípios e os métodos da Engenharia de Sistemas habilita-se a participar de empreendimentos de alta complexidade, cada vez mais frequentes no mundo moderno.

Objetivos

- Reconhecer os antecedentes históricos e as principais características da Teoria Geral dos Sistemas.
- Descrever os componentes e os conceitos aplicados a sistemas.
- Identificar as diferentes categorias de sistemas.
- Descrever os principais aspectos da Engenharia de Sistemas.

Introdução

Neste conteúdo, apresentaremos os antecedentes que levaram à formulação da Teoria Geral dos Sistemas e descreveremos as circunstâncias que a tornaram tão relevante para os diferentes ramos do conhecimento. A partir daí, será realizada uma descrição dos sistemas, buscando apresentar seus principais conceitos, suas propriedades, suas categorias e seus componentes. O entendimento dos sistemas servirá de base para a apresentação do conteúdo sobre a Engenharia de Sistemas.

Diferentemente da Engenharia tradicional, cujos postulados derivam das propriedades físicas dos elementos, a Engenharia de Sistemas trata da aplicação de métodos e técnicas que orientam a concepção, o desenvolvimento, a produção, a utilização, o suporte e o desfazimento de sistemas complexos, característicos de empreendimentos de grande vulto e que envolvem a integração de tecnologias avançadas e exigem a aplicação de diferentes ramos do conhecimento.

Orientação sobre unidade de medida

Em nosso material, unidades de medida e números são escritos juntos (ex.: 25km) por questões de tecnologia e didáticas. No entanto, o Inmetro estabelece que deve existir um espaço entre o número e a unidade (ex.: 25 km). Logo, os relatórios técnicos e demais materiais escritos por você devem seguir o padrão internacional de separação dos números e das unidades.

Antecedentes da Teoria Geral dos Sistemas

Uma das características mais marcantes dos seres humanos em relação aos outros animais é a sua capacidade de alterar o seu ambiente para que este atenda às suas necessidades. Vamos observar a seguir como esse processo ocorreu ao longo da história.

Fósseis de mais de 1,5 milhão de anos, descobertos no sítio arqueológico de Olduvai Gorge, na Tanzânia, indicam que o *Homo habilis*, um dos antepassados do homem moderno, fabricava e utilizava ferramentas rudimentares de pedra. Há 600 mil anos, o *Homo erectus*, outra espécie do gênero humano, controlava o fogo, embora não fosse capaz de criá-lo, coisa que os homens anatomicamente modernos conseguiram há cerca de 150 mil anos.



Fósseis.

Há cerca de 50 mil anos, grupos humanos que viviam da caça e da coleta utilizavam ossos, galhadas, marfim, dentes e conchas para produzir facas, anzóis, alfinetes, brocas e lâminas. Aqueles grupos não cultivavam plantas nem criavam animais, mas viviam daquilo que a natureza lhes ofertava. Eles dependiam da regeneração dos meios de subsistência e, como estratégia para viabilizar o aumento populacional, buscavam territórios desconhecidos.

Na sua evolução durante milhares de anos, a humanidade cresceu em número de indivíduos e espalhou-se pelo mundo. A agricultura surgiu como uma solução para o emergente problema do crescimento populacional.



Curiosidade

A chamada Revolução Neolítica, iniciada há cerca de 11 mil anos na região do Crescente Fértil, no Oriente Médio, marcou a transição do predomínio da coleta e da caça para a produção de alimentos pelo cultivo de plantas e criação de animais.

Até há algumas poucas centenas de anos, a agricultura continuou sendo a principal atividade econômica, embora obras como as pirâmides do Egito ou os aquedutos romanos demonstrem a sofisticação e grandeza da inventividade humana em várias ocasiões da história e em diferentes regiões do planeta.

Na Europa, a prática da engenharia floresceu a partir dos séculos XV e XVI com o desenvolvimento de novos tipos de navios, como a caravela e o galeão. A partir de meados dos anos 1600, a engenharia militar passou a

requerer a formação de oficiais em habilidades matemáticas e mecânicas, diante da crescente necessidade dos exércitos em dispor de fortificações e artefatos bélicos mais complexos (WECK; ROSS; MAGEE, 2011).

Na época, mesmo os artigos manufaturados mais sofisticados eram produzidos artesanalmente. Não havia produção em larga escala, situação que mudou a partir do final do século XVIII. Em 1775, o escocês James Watt patenteou a máquina a vapor, que, em pouco tempo, desencadeou um processo de sucessivas inovações tecnológicas, no contexto da chamada Revolução Industrial.

Dentre vários outros inventos, vejamos os seguintes:

1802

Veículo a vapor em quatro rodas

1813

Primeira locomotiva a vapor

1821

Motor Elétrico

1837

Telégrafo

1876

Telefone

1879

Motor automotivo

1883

Lâmpada

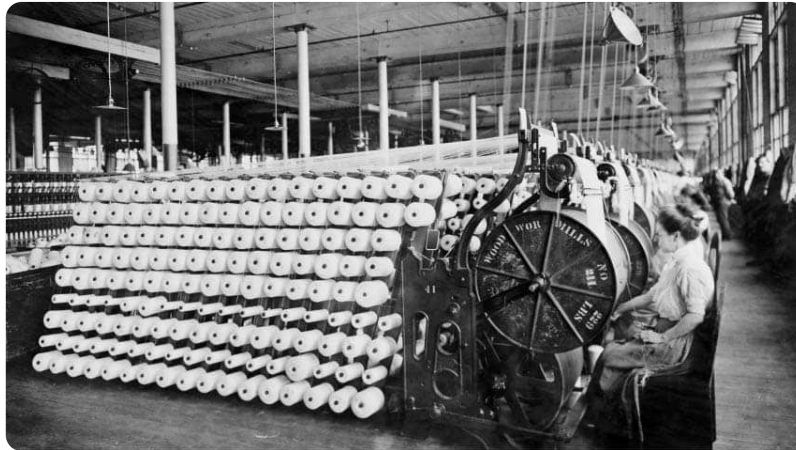
1893

Motor a diesel

1895

Telegráfo sem fio

O maquinário foi introduzido para substituir ou complementar o esforço humano, e não apenas isso, pois a Revolução Industrial não se limitou aos avanços materiais, mas provocou profundas alterações na dinâmica produtiva e na organização do trabalho.



Indústria.

A necessidade de mover as máquinas determinou o aumento na produção de carvão e, mais tarde, deu condições para a produção massiva de eletricidade. A necessidade de transportar grandes quantidades de carga a longas distâncias propiciou a implantação das ferrovias, que, por sua vez, demandaram avanços na produção de ferro e de novas máquinas. Esse círculo virtuoso viu surgir novos meios de produção, e o acúmulo de capitais criou demandas de serviços bancários e de administração (DALAL, 2016).

No início do século XX, as redes de transporte, de comunicações e de eletricidade ainda não estavam conectadas entre si e cada uma realizava suas funções isoladamente. Em poucas décadas, os empreendimentos de engenharia foram crescendo em termos de grandeza e complexidade. A consolidação da oferta de energia elétrica permitiu o desenvolvimento de máquinas eletromecânicas e, nas décadas de 1930 e 1940, houve um rápido avanço tecnológico em equipamentos de comunicações, de artefatos rudimentares de computação e de mecanismos de controle.

As necessidades militares surgidas no contexto da Segunda Guerra Mundial, especialmente quanto ao cálculo balístico de precisão, a detecção de objetos distantes e a criptografia de mensagens demandaram o desenvolvimento de equipamentos de alta sofisticação, tais como os radares, que, entretanto, apresentavam seguidas falhas e eram de difícil operação.



Radar da Segunda Guerra Mundial.

Nos anos que se seguiram àquele grande conflito, houve um grande esforço para desenvolver técnicas que solucionassem os problemas de gerenciar e sincronizar vários sistemas e equipamentos complexos. Muitas vezes, acontecia que as partes e os componentes de um equipamento funcionavam perfeitamente quando eram testados isoladamente, mas ao serem reunidos e montados para formar o todo, o material não alcançava o desempenho esperado.

Tais situações levaram os engenheiros e cientistas da década de 1950 a prestarem especial atenção na Teoria Geral dos Sistemas (TGS), concebida pelo biólogo austríaco Ludwig Von Bertalanffy, que buscava um modelo científico que auxiliasse a explicação do comportamento dos seres vivos.

Teoria Geral dos Sistemas

O que é sistema?



Saiba mais

Um sistema (do grego: sun = com, istemi = colocar junto) pode ser entendido como um conjunto integrado de elementos que interagem entre si para realizar determinado objetivo. Esse conceito está coerente com a afirmação de Aristóteles de que "o todo é maior que a soma de suas partes".

A afirmação do filósofo grego constitui o princípio geral do holismo, teoria filosófica que estabelece que as propriedades de um sistema não podem ser explicadas apenas pela soma de seus componentes individuais, mas concebe as coisas ou o mundo como um todo integrado, tal qual um organismo.

Até meados do século XX, o método científico era predominantemente cartesiano, ou seja, o cientista decompunha em partes o seu objeto, para depois os estudar isoladamente. Essa era abordagem analítica

clássica, que ia dos pormenores para o todo, usando modelos e planos muito precisos e rigorosos, mas que dificilmente se aplicariam aos problemas da realidade. Outra maneira de se estudar o objeto era pela abordagem sistêmica, que segue o caminho inverso, orientando o entendimento do objeto a partir do todo para as partes.

Assim, a abordagem clássica, ao estudar isoladamente os elementos de um sistema, falhava em descrever seus inter-relacionamentos. Por outro lado, tal falha não acontece na abordagem sistêmica, em que primeiro se compreende a totalidade do sistema e, a partir daí, aprofunda-se progressivamente no estudo de seus integrantes e de suas interações.

Nos anos 1920, Bertalanffy apontara que a principal característica de um ser vivo era a sua organização.

Para ele, a abordagem analítica clássica, investigando as partes e os processos isoladamente, não seria capaz de dar uma explicação suficiente para o fenômeno da vida. Era preciso ir além do estudo da musculatura, do esqueleto, do sistema circulatório e de tantos outros componentes de um organismo, compreendendo o inter-relacionamento de todas essas partes entre si e com o sistema maior, que é o "Sistema Ser Vivo" (ARAÚJO, 2016).

Inicialmente, a Teoria Geral dos Sistemas havia sido apresentada oralmente em um seminário na Universidade de Chicago, em 1937, mas sem despertar grande interesse. As primeiras publicações sobre o assunto surgiram após a Segunda Guerra Mundial. Na época, Bertalanffy notou uma mudança no pensamento da comunidade científica e deu-se conta que suas ideias correspondiam a uma nova tendência (BERTALANFFY, 1972). Assim, os princípios da TGS ultrapassam a Biologia e podem ser aplicados para quaisquer tipos de sistemas, especialmente aqueles de alta complexidade.

Na formulação da TGS, Bertalanffy criticara a divisão da ciência em diferentes áreas, com suas separações arbitrárias em Física, Química, Biologia, entre outras. As disciplinas possuíam fronteiras bem definidas entre si, mas havia grandes lacunas de conhecimento que não eram suficientemente abordadas por nenhuma delas isoladamente.

Os postulados da Teoria Geral dos Sistemas podem ser aplicados em todos os ramos da ciência e nos diferentes empreendimentos produtivos.

A TGS baseou-se nas similaridades que existem entre sistemas de diferentes ramos do conhecimento, assumindo os seguintes pressupostos:

- Há uma tendência geral no sentido da integração das ciências naturais e sociais.
- Tal integração parece centralizar-se em uma Teoria de Sistemas.
- Essa teoria pode ser um importante meio para alcançar uma teoria exata nos campos não físicos da ciência.
- Desenvolvendo princípios unificadores que atravessam verticalmente o universo das ciências individuais, essa teoria aproxima-nos da meta da unidade da ciência.
- Isso pode conduzir à integração muito necessária na educação científica (BERTALANFFY, 1972).

A TGS busca relacionar e compreender todas as disciplinas e a necessidade de sua integração. O pensamento sistêmico decorre justamente desse relacionamento e dessa compreensão, buscando uma visão abrangente do sistema (ANDRADE, 2016).



Curiosidade

Com o pensamento sistêmico, os pesquisadores dos vários ramos de conhecimento, até então estranhos uns aos outros, passaram a identificar os objetivos de seus estudos em termos do papel que exerciam na compreensão de um sistema maior e abrangente.

Esse sistema é uma entidade global, com objetivos próprios, com sinergia entre suas partes, produzindo efeitos que ultrapassam a soma de seus elementos tomados isoladamente (CHIAVENATO, 2015).

Evolução da TGS até os dias atuais

Ao longo dos anos, a aplicação da TGS impulsionou avanços em diferentes campos do conhecimento, como nas ciências naturais e humanas, na Cibernética e na Engenharia de Sistemas (*Systems Engineering*) (INCOSE, 2015).

A TGS pode ser aplicada às questões sociais?

Nas ciências sociais, a TGS tem permitido a integração de diferentes perspectivas. Muitas vezes, o tratamento de uma mesma questão social poderia envolver teorias contraditórias entre si, vindas de diferentes ramos como a Sociologia, a Psicologia, a Economia, a Administração, entre outras.



Comentário

Tentar juntar essas teorias sem um enfoque sistêmico redundaria em impasses e inconclusões. A Teoria Geral dos Sistemas é um importante instrumento para integrar diferentes perspectivas, fornecendo uma visão da totalidade que permite obter soluções mais abrangentes e harmônicas.

O pensamento sistêmico e a visão holística dos sistemas impactaram positivamente as diversas áreas da ciência. Houve o surgimento de novas denominações, tais como o sistema solar, na Astronomia; o sistema monetário, na Economia; o sistema nervoso e o respiratório, na Fisiologia, e assim por diante, mas sempre dentro de uma visão global e integrada (CHIAVENATO, 2015).

E qual seria a relação entre a TGS e a cibernética?

A cibernética é uma teoria concebida nos anos 1940, com o objetivo de estudar cientificamente os problemas de controle e da comunicação no animal e na máquina, constituindo-se em uma abordagem interdisciplinar para compreender como os sistemas (animais, máquinas e formas sociais de organização) processam as informações, respondem a elas e mudam, ou são alterados, para um melhor funcionamento. Seu campo de ação foi ampliado com o desenvolvimento da Teoria Geral dos Sistemas.

Muitas implementações baseadas na cibernética buscam construir máquinas que exibam comportamentos "inteligentes" como um meio de explorar possíveis modelos de mecanismo do cérebro, tendo sido aplicadas em sistemas biomédicos, sistemas adaptativos, inteligência artificial, robótica, sistemas socioeconômicos em grande escala, sistemas homem-máquina e ciência de sistemas.

E o que é Engenharia de Sistemas?

A Engenharia de Sistemas surgiu na década de 1930. Diferentemente da Engenharia tradicional, ela não emprega teoremas matemáticos ancorados em propriedades físicas dos elementos, mas trata da aplicação de métodos e técnicas para orientar o ciclo de vida de sistemas complexos, desde a sua concepção até o seu desfazimento.

A Engenharia de Sistemas tem sido de grande importância particularmente desde a década de 1990, com a rápida evolução nos meios da Tecnologia de Informação e o surgimento de novas soluções, como computação na nuvem, redes sociais, ferramentas de busca, serviços de geolocalização, entre outros.

A Teoria Geral dos Sistemas

Neste vídeo explicamos os Antecedentes e a importância da TGS. Vamos lá!



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Vem que eu te explico!

Os vídeos a seguir abordam os assuntos mais relevantes do conteúdo que você acabou de estudar.

Antecedentes da Teoria Geral dos Sistemas



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Teoria Geral dos Sistemas



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Verificando o aprendizado

Questão 1

A invenção da máquina a vapor, na segunda metade do século XVIII, desencadeou um processo de inovações denominado de Revolução Industrial. Sobre essa importante etapa da história, é correto afirmar que

A

a introdução da máquina a vapor permitiu automatizar as atividades industriais.

B

as inovações da Revolução Industrial alteraram o modo de produção da indústria, mas não estão diretamente relacionadas com a introdução da Teoria Geral de Sistemas.

C

o maquinário a vapor aumentou a produtividade das fábricas e propiciou o surgimento do pensamento sistêmico.

D

a Revolução Industrial promoveu a transformação do setor de transportes, que logo integrou-se às redes de telegrafia e de distribuição de energia.

E

o desenvolvimento dos processos industriais implicou o surgimento de questões complexas que redundaram na Teoria Geral dos Sistemas.



A alternativa B está correta.

A Teoria Geral dos Sistemas foi introduzida pelo biólogo Ludwig Bertalanffy na primeira metade do século XX, em sua busca por um método científico que explicasse o comportamento dos seres vivos.

Questão 2

Etimologicamente, o termo "cibernética" deriva das funções desenvolvidas dentro de um navio. Tem-se o piloto a todo tempo processando as informações que interpreta dos ventos, das correntes marítimas e das tempestades, e determinando as devidas correções no rumo. Estas são passadas ao timoneiro, que as executa, ao mesmo tempo que os remadores fornecem a energia propulsora do navio. Sobre o relacionamento da cibernética com a Teoria Geral de Sistemas, é correto afirmar que

A

há pouca interação entre os princípios da Teoria Geral dos Sistemas e da cibernética, embora guardem muitas semelhanças entre si.

B

a cibernética impulsionou as Tecnologias da Informação, sendo essencialmente uma modalidade da Engenharia Eletrônica.

C

os profissionais que atuam na cibernética são engenheiros eletrônicos com algum conhecimento sobre a Teoria Geral dos Sistemas.

D

a cibernética e a Teoria geral dos Sistemas têm em comum muitos de seus objetivos e suas formas de ação.

E

a cibernética foi aos poucos se tornando um novo ramo da Engenharia de Sistemas.



A alternativa D está correta.

O desenvolvimento da Teoria Geral de Sistemas ampliou o campo de ação da cibernética. Ambas teorias guardam muitas semelhanças entre si.

Identificação de um sistema

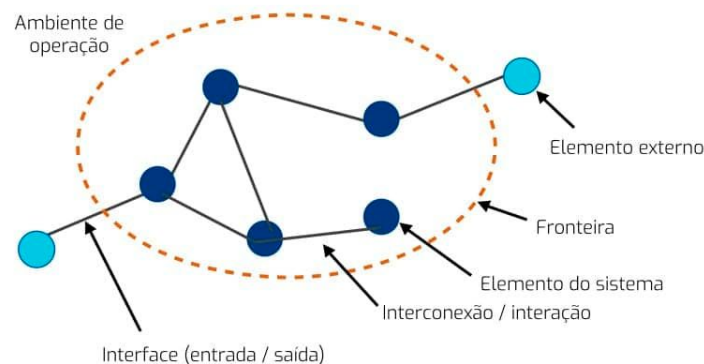
Podemos encontrar sistemas na natureza, na ciência, na sociedade, no contexto econômico ou informacional. A identificação de um sistema implica reconhecer a sua vizinhança, sua fronteira e o próprio sistema de interesse.

O ambiente é o meio que envolve externamente o sistema, podendo conter elementos que não pertencem ao sistema, mas que interagem com ele.



Atenção

Essa coleção de elementos também é chamada de ambiente operacional ou contexto. Não há sistemas fora do meio específico, eles estão inseridos em um ambiente e são por ele condicionados.



Elementos de um sistema.

As partes internas e externas de um sistema dão origem ao conceito de sua fronteira ou seu limite, que é uma “linha de demarcação” entre o próprio sistema e o ambiente operacional. Os limites definem o que é o sistema e o que é o ambiente (CHIAVENATO, 2015).

A ideia fundamental de um sistema é que se trata de um todo que compreende partes que interagem entre si. Disso decorrem dois conceitos: o de globalismo (ou totalidade) e o de propósito (ou objetivo). Ambos os conceitos retratam características básicas do sistema. Vejamos cada um deles com mais detalhes:

Globalismo ou totalidade

Todo sistema tem uma natureza orgânica em que uma ação que produza mudança numa unidade do sistema deverá produzir mudanças em todas as suas outras unidades. Assim, uma alteração num elemento impactará todos os demais elementos, devido ao relacionamento entre eles. O sistema sempre reagirá globalmente a qualquer estímulo em uma de suas partes, tendendo a ajustar-se a essas mudanças.

Propósito ou objetivo

Todo sistema tem um ou mais propósitos ou objetivos. Os elementos de um sistema e seus relacionamentos definem um arranjo que sempre visa a um objetivo ou a uma finalidade que deve alcançar (CHIAVENATO, 2015).

O entendimento da finalidade de um sistema permite tratar de sua funcionalidade e de seus atributos.

1

Funcionalidade de um sistema

É a qualidade em que ele desempenha corretamente as funções para as quais foi concebido. A funcionalidade normalmente se expressa em termos de suas interações com seu ambiente operacional, em especial, com seus usuários. Por exemplo, a principal função dos motores de uma aeronave é prover sua propulsão.

2

Atributo de um sistema (ou de um elemento desse sistema)

É uma característica observável ou propriedade desse sistema ou elemento. Os atributos são expressos simbolicamente por variáveis, que podem ser quantitativas, se a característica for mensurável; ou categóricas, se a característica se referir a uma classificação. Assim, um atributo quantitativo de uma aeronave é sua velocidade de cruzeiro de 850km/h; e um atributo qualitativo é ser monoplane (possuir apenas um par de asas).

Conceitos aplicados aos sistemas

Os principais conceitos relacionados com a interação dos sistemas e o ambiente são: entrada, saída, processamento e retroação.



Agora, vamos conhecer cada um deles:

Entrada ou insumo (input)

É a força ou o impulso de partida do sistema, que fornece material, energia ou informação que será processada.

Saída (output)

É o resultado da operação de um sistema. Todo sistema produz uma ou mais saídas, onde exporta para o ambiente o resultado de suas operações, que devem ser coerentes com os objetivos do sistema.

Processamento

A conversão das entradas em saídas ocorre pelo processamento, que realiza a produção dos resultados do sistema.

Retroação

É um mecanismo em que uma parte da saída de um sistema volta à entrada para ser novamente processada. A retroação também serve para comparar o modo de operação do sistema com o padrão estabelecido para o seu funcionamento. Pela retroação, o efeito (saída) reflui sobre a causa (entrada), seja para amplificá-la (retroação positiva) ou inibi-la (retroação negativa), impondo correções no sistema e reduzindo seus desvios ou suas discrepâncias, de modo a regular o seu funcionamento.

Vejamos agora o conceito da homeostasia, que trata da autorregulação frente a estímulos do meio externo sobre o sistema.

Como ocorre a homeostasia?



Saiba mais

A homeostasia ocorre quando elementos externos agem sobre algumas variáveis do sistema, forçando-o a se desviar da normalidade.



Piloto automático.

O mecanismo homeostático é um dispositivo de controle que manterá essas variáveis dentro dos limites desejados, como o piloto automático na aviação.

A base da homeostasia é a comunicação e a ação de controle com a consequente retroação positiva ou negativa (CHIAVENATO, 2015).

Sistemas como produtos e como capacidades

Em termos físicos, o termo sistema muitas vezes é considerado como sinônimo de um **produto**. É comum afirmar que o projeto está entregando um sistema no sentido de que está entregando, por exemplo, novos equipamentos de comunicações, uma aeronave ou um conjunto de computadores.

Nesse entendimento, deve-se considerar que um sistema inclui tanto os produtos operacionais como os de apoio. Vejamos cada um com mais detalhes:

1Produtos operacionais

Também chamados de produtos finais, são aqueles que vão efetivamente cumprir as funções do sistema. Por exemplo, o computador de bordo de uma aeronave fornecerá instruções ao leme para compensar os efeitos de uma turbulência, cumprindo a função de corrigir o rumo durante o voo.

2

Produtos de apoio

Também chamados de habilitadores, são aqueles que realizam processos associados ou funções não operacionais do sistema, incluindo o maquinário empregado na produção do sistema, os equipamentos de teste, entre outros. Um simulador é um exemplo de produto empregado para o treinamento dos pilotos de uma aeronave, mas que não é efetivamente empregado no voo, ou seja, durante sua operação. Diz-se que o simulador habilita o piloto a operar o sistema, mas não está envolvido em sua operação (EIA, 1999).

O entendimento de um sistema ultrapassa a ideia da simples entrega de materiais, equipamentos, hardware ou softwares. Seu desempenho dependerá da combinação dos fatores que o constituem, que, em muitos casos, dizem respeito à organização na qual o sistema está inserido, à infraestrutura disponível, aos processos que realiza e, sobretudo, ao pessoal que vai interagir com o sistema, seu nível de treinamento, sua formação educacional, bem como à sua motivação para o trabalho. Todos esses fatores em conjunto constituem a capacidade do sistema, entendida como sua aptidão em cumprir o propósito para o qual foi concebido.

A diferença dos sistemas como produtos ou capacidades relaciona-se às estruturas organizacionais nas quais os trabalhos são executados. Nelas os processos de produção compreendem diferentes arranjos, que podem ser estudados sob o enfoque sistêmico.

Conceitos aplicados a projetos

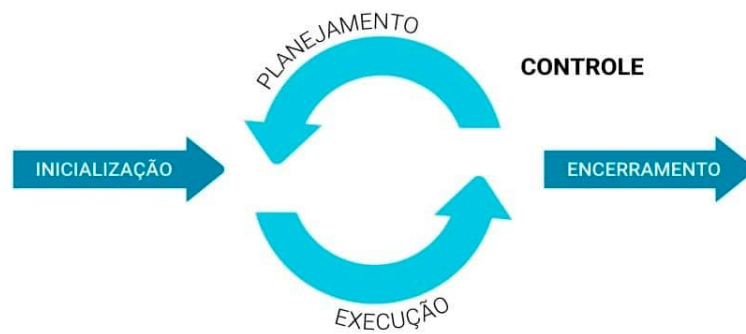
Inicialmente, as organizações desempenham dois tipos de trabalho: as operações e os projetos. As operações são os trabalhos rotineiros, continuados e constantes. Já os projetos são aqueles que fogem à rotina, caracterizando-se pela sua singularidade e temporariedade.

Vejamos um exemplo que ilustra a diferença entre projeto e operação.

Suponha que uma indústria automobilística queira desenvolver um novo modelo de SUV (veículo utilitário esportivo). Ela montará uma equipe de projeto para a concepção e o design desse automóvel. A equipe vai trabalhar para entregar o resultado do projeto dentro do prazo estipulado.

As especificações do projeto poderão acarretar algumas alterações e providências logo implementadas nas linhas de montagem. Então, a fábrica vai produzir os sucessivos lotes do novo modelo de carro, inserido em sua rotina de trabalho, ou seja, na operação.

Um projeto visa criar um produto ou serviço único e envolve cinco processos para sua conclusão: **inicialização, planejamento, execução, controle e encerramento.**



Etapas de um projeto.

Vamos conhecer cada um desses processos:

Iniciação

Realiza-se o levantamento de todas as necessidades físicas, financeiras e de pessoal para a concretização do projeto.

Planejamento

Definem-se os caminhos para alcançar os objetivos do projeto.

Execução

Ocorre a realização e conclusão dos produtos ou serviços.

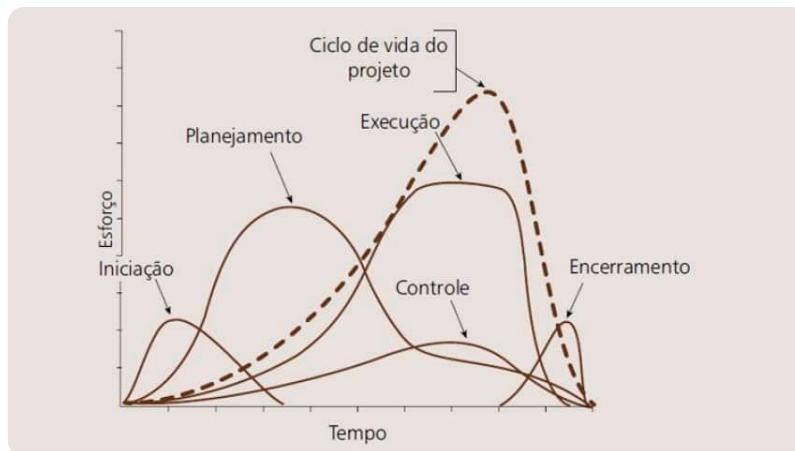
Controle

Realizam-se medições regulares para a avaliação do desempenho, de modo a detectar e corrigir os problemas.

Encerramento

Envolve a entrega do projeto, com todos os documentos produzidos e um histórico que amplie o conhecimento da organização para embasar projetos futuros.

As etapas se desenrolam ao longo do tempo, caracterizando a existência de um ciclo de vida do projeto, como podemos verificar na imagem a seguir.



Ciclo de Vida de um projeto.

Conceitos aplicados a sistemas e projetos

Acompanhe agora detalhes sobre a aplicação desses conceitos.



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Vem que eu te explico!

Os vídeos a seguir abordam os assuntos mais relevantes do conteúdo que você acabou de estudar.

Conceitos aplicados a sistemas



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Conceitos aplicados a projetos



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Verificando o aprendizado

Questão 1

Sobre os conceitos aplicados a sistemas, é correto afirmar que

A

a identificação de um sistema, dentre outras ações, implica reconhecer suas fronteiras com o ambiente operacional.

B

uma aeronave, quando considerada como um sistema, terá dentre seus atributos de desempenho o nome da companhia para qual ela opera.

C

os principais conceitos relacionados à interação dos sistemas e ao ambiente são: entrada, saída, processamento e intercessões.

D

o conceito da homeostasia pode ser explicado pelo aumento da entropia do sistema.

E

os produtos finais de um sistema podem ser entendidos como os resultantes de sua operação, incluindo aparelhos de teste e equipamentos de estabilização de voltagem.



A alternativa A está correta.

Uma das ações para identificar um sistema é o reconhecimento de suas linhas internas e externas que marcam seus limites, como o ambiente no qual ele está inserido e que o envolve externamente. A identificação do sistema também inclui os seus elementos e as suas interfaces.

O ambiente é o meio que envolve externamente o sistema, podendo conter elementos que não pertencem ao sistema, mas interagem com ele. Essa coleção de elementos também é chamada de ambiente operacional ou contexto.

Questão 2

Um sistema deve ser entendido em função de um conjunto de fatores que o constituem e dos materiais, equipamentos, hardware ou softwares que entrega. Diante disso, é correto afirmar que

A

o desempenho de um sistema será condicionado pela organização em que ele atua.

B

as pessoas são elementos externos do sistema e não influenciam seu desempenho.

C

a infraestrutura é um fator extremamente relevante para o funcionamento de um sistema, pois é, por si só, determinante para o seu desempenho.

D

o fluxo das marés não deve ser considerado no projeto de uma ponte.

E

os produtos resultantes da operação de um sistema explicam, por si só, a sua capacidade.



A alternativa A está correta.

O desempenho de um sistema depende da combinação de uma série de fatores, tais como a organização em que ele está inserido, as instalações que o abrigam ou o nível de treinamento do pessoal que o opera, entre outros.

Categorias de sistemas

Os sistemas podem ser encontrados na natureza, na ciência, na sociedade, nos sistemas de informação e em diversos outros ramos produtivos. Há várias maneiras de classificá-los, como veremos a seguir.

Os sistemas podem ser físicos ou abstratos:

Sistemas físicos ou concretos

São compostos por equipamentos, máquinas, objetos e materiais, e podem ser descritos em termos quantitativos de desempenho.



Sistemas abstratos ou conceituais

São os conceitos, as filosofias, os planos, as hipóteses e as ideias, em que os objetos só existem no pensamento das pessoas.

Quanto à sua natureza, os sistemas podem ser abertos ou fechados:

Sistemas fechados

São relativamente contidos em si mesmos e não interagem significativamente com o meio em que operam. Esse é o caso, por exemplo, de uma bateria automotiva que esteja desconectada de qualquer circuito elétrico e guardada no estoque de uma loja automotiva.

Sistemas abertos

Realizam intercâmbio com o ambiente por inúmeras entradas e saídas. São adaptativos e devem reajustar-se constantemente às condições do meio. A viabilidade de um sistema aberto depende de sua capacidade de adaptação às exigências e demandas do ambiente externo. Um exemplo de sistema aberto é aquela bateria que estava guardada no estoque, mas que logo em seguida foi instalada em um automóvel. Nessa nova condição, ela fornecerá energia ao circuito elétrico do carro, o qual representa o ambiente externo que a envolve.

Há, também, os sistemas naturais e artificiais:

1

Sistemas naturais

Abrangem aqueles que surgiram por meio de processos naturais, tais como um conjunto de rios formando um sistema fluvial.

2

Sistemas artificiais

São os sistemas desenvolvidos por seres humanos, por exemplo, um sistema de transporte rodoviário. Uma modalidade de sistema artificial é o sistema natural modificado por seres humanos. Esse é o caso de um sistema fluvial aproveitado para geração de energia hidrelétrica, com a construção de represas e de desvios dos cursos d'água.

Por fim, o sistema pode ter ou não precedentes, ou seja, ele pode ser similar a outros sistemas produzidos anteriormente; ou ser um sistema inédito, sem similaridades a outros já produzidos. Via de regra, os sistemas sem precedentes resultam de esforços de pesquisa e desenvolvimento.

Descrição de um sistema

Um sistema pode ser descrito em termos lógicos e físicos.

Descrição lógica do sistema

Também referenciada como sua **descrição funcional**, articula o que o sistema fará, o quão bem deve fazê-lo, como será avaliado, sob quais condições deverá operar e quais outros sistemas deverão estar envolvidos em sua operação.

Descrição física do sistema

Refere-se aos elementos do sistema, o que são, o que fazem, sua aparência, e como serão produzidos, integrados e avaliados.

Pode-se dizer que a descrição lógica relata os “quês”; e a descrição física os “como” do sistema. As descrições lógica e física comporão os requisitos dele. O primeiro trabalho é descrever o sistema em seus termos funcionais. É bem razoável que a descrição lógica anteceda a descrição física, já que se deve primeiro compreender o que o sistema deve fazer para depois determinar como ele o fará.

O foco inicial na descrição lógica possibilita encontrar soluções inovadoras para novos problemas e mesmo para os antigos. Fazer o inverso, ou seja, realizar a descrição física antes da lógica, levaria a tentar resolver os novos problemas usando as mesmas soluções já adotadas.



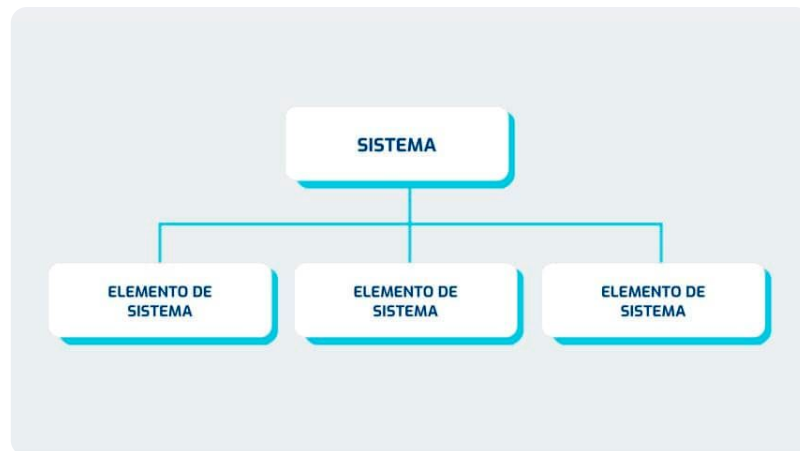
Comentário

É preciso realizar análises de viabilidade no nível lógico antes de implementar as soluções em termos físicos, já que a implementação de soluções físicas inadequadas pode causar grandes desperdícios ou mesmo inviabilizar o sistema. Portanto, primeiro se define a descrição lógica do sistema para só depois se desenvolver uma descrição física apropriada.

A descrição lógica do sistema é mais estável que a sua descrição física, especialmente ao considerar a rápida evolução tecnológica da atualidade. Por exemplo, no que tange a um veículo motorizado, a descrição lógica do seu motor de combustão interna não mudou muito nos últimos dois séculos. Sua finalidade continua sendo a de fornecer movimento para o carro. Contudo, sua implementação física mudou drasticamente nesse período. O motor atualmente incorpora sensores, materiais e configurações que inexistiam até bem pouco tempo atrás.

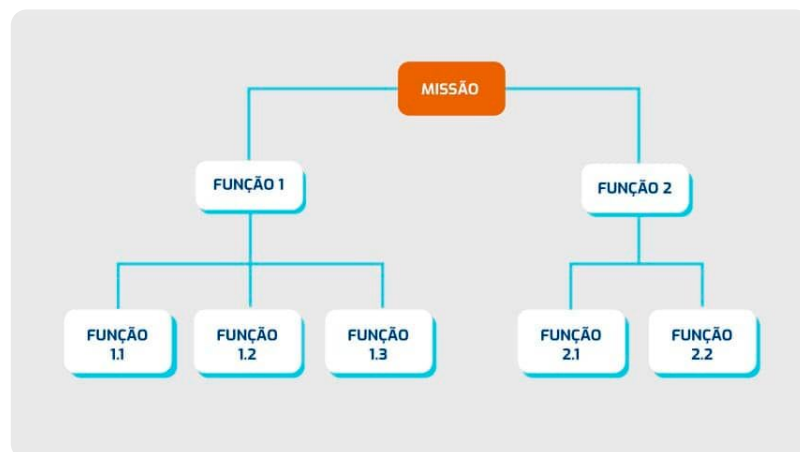
Hierarquia do sistema

Um sistema pode ser definido por uma combinação de elementos que interagem para alcançar um resultado definido. O relacionamento entre o sistema e seu conjunto de elementos pode então ser representado em uma estrutura hierárquica.



Estrutura hierárquica de um sistema.

A descrição lógica de um sistema distribui sua missão por uma estrutura hierárquica contendo suas principais funções. A descrição ou arquitetura lógica é, portanto, frequentemente denominada de hierarquia funcional ou arquitetura funcional.

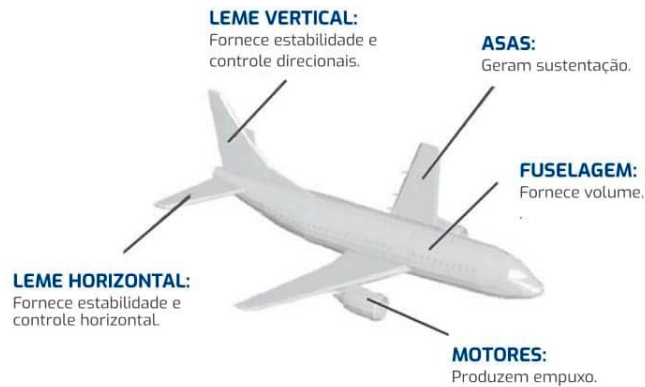


Arquitetura lógica de um sistema

Em termos de sua constituição física, um sistema pode ser considerado como composto por produtos operacionais (ou finalísticos) e produtos de apoio. Relembrando as definições, que já estudamos, os produtos operacionais são os que cumprem as funções operacionais do sistema; e os produtos de apoio realizam funções não operacionais do sistema.

Os produtos finalísticos dos sistemas também são descritos em uma hierarquia. Um dos modelos mais comuns considera a estrutura hierárquica composta por quatro camadas. Primeiro, o próprio sistema, seguido de seus subsistemas, conjuntos e componentes.

A aplicação desses termos a situações específicas dependerá muito do contexto da situação na qual o projeto do sistema está sendo considerado. Por exemplo, no caso do sistema aeronave, ele conterá, dentre outros, o subsistema motor, que pode consistir de conjuntos, tais como tanques de combustível, bombas, tubulação, turbinas, compressores, caixas de transmissão e bombas hidráulicas, e componentes como cilindros, pistões, bielas, comando de válvulas etc.



Subsistemas de uma aeronave.

A seguir, vamos estudar o sistema de interesse e o sistema de sistemas.

Sistema de interesse (System of Interest – Sol)

O sistema que está sendo analisado e estudado e que cumpre uma ou mais missões operacionais.

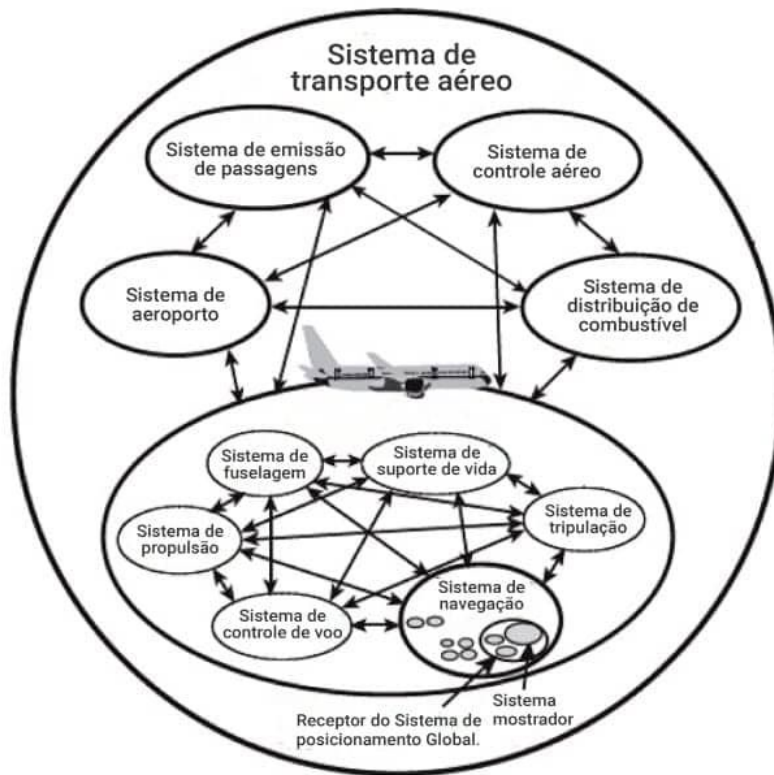
Sistema de sistemas (System of Systems – SoS)

É um tipo particular de sistema de interesse em que todos os seus elementos são considerados, eles mesmos, como sistemas.

A figura a seguir ilustra os dois conceitos. Ela mostra um Sistema de Transporte Aéreo, que é um sistema de sistemas porque é composto apenas por outros sistemas: sistema de emissão de passagens, sistema de controle de tráfego, sistema de distribuição de combustível, sistema de aeroportos e sistema aeronave. Um dos componentes do sistema aeronave é o sistema de navegação, que abrange o receptor de um Sistema de Posicionamento Global (GPS).

O sistema de interesse (Sol) será aquele em que focamos a nossa atenção.

No caso da figura, o Sol poderia ser o GPS do Sistema de Navegação da aeronave, se estivéssemos interessados em investigar os custos de seu ciclo de vida, por exemplo. Da mesma forma, o Sol poderia, por exemplo, ser o sistema de propulsão ou qualquer outro sistema da aeronave, ou o sistema de aeroportos, ou o próprio Sistema de Transporte Aéreo. Tudo dependeria do foco do estudo.



Sistema de Transporte Aéreo.

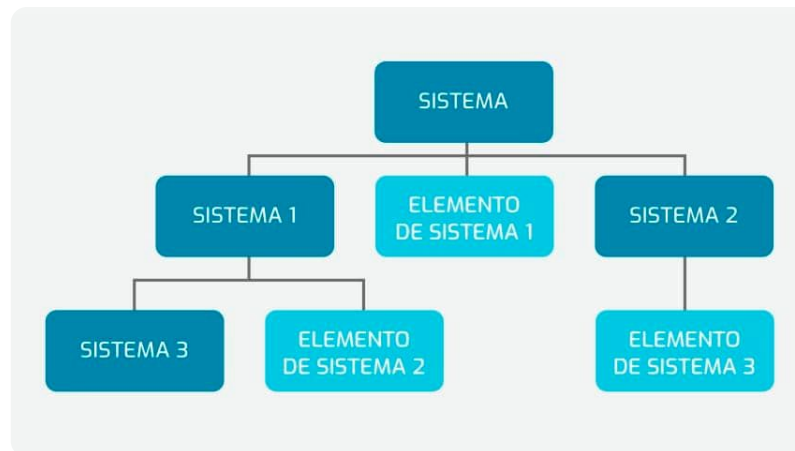
Alguns dos elementos do Sol podem, eles mesmos, ser propriamente considerados como sistemas, o que acontece quando possuem, dentre outros atributos, a capacidade de funcionarem sozinhos, destacados do Sol.

Os sistemas de interesse são inerentemente complexos. O seu grau de complexidade depende dos seguintes fatores:

1. A quantidade de elementos de sistemas.
2. A maneira como são realizadas as inter-relações do sistema com outros sistemas.
3. O modo em que os elementos do Sol interagem entre si.
4. A quantidade de atributos do sistema e dos elementos de sistemas constituintes.
5. Os tipos de tecnologia envolvidos no Sol.
6. A quantidade de pessoal e homem-hora envolvida na realização do sistema nas diversas fases do ciclo de vida.

A figura a seguir mostra a arquitetura de um sistema complexo. Esse sistema é constituído por outros sistemas (os Sistemas 1, 2 e 3) e também por elementos de sistema.

Os Sistemas 1, 2 e 3 são capazes de funcionar autonomamente mesmo se forem destacados do Sistema. Já os elementos de sistema não possuem essa capacidade.

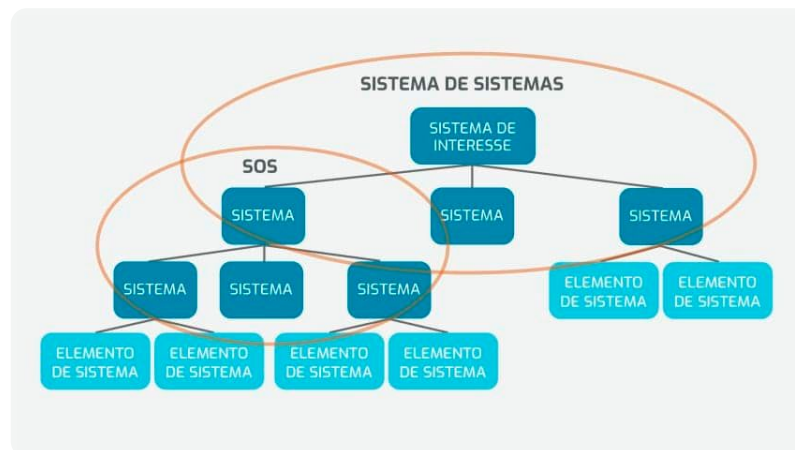


Arquitetura de um sistema complexo.



Relembrando

Um sistema de sistemas é um tipo particular de sistema de interesse em que todos os seus elementos são, eles mesmos, considerados como sistemas, ou seja, possuem a capacidade de funcionar autonomamente, quando desvinculados do SoS. O Sistema de Transporte Aéreo apresentado é um exemplo de sistema de sistemas, pois é constituído por vários outros sistemas, que podem funcionar autonomamente. A figura a seguir mostra a arquitetura de um sistema de sistemas.



Sistema de sistemas.

Os sistemas de sistemas apresentam as propriedades a seguir. Verifique se essas propriedades se aplicam ao caso do Sistema de Transporte Aéreo.

Independência operacional dos sistemas individuais

Isso é muito importante! Um SoS é composto de sistemas que são independentes e úteis por si só. Um sistema constituinte de um SoS é autônomo, portanto, se for destacado do SoS, será capaz de desempenhar independentemente operações úteis por si mesmas.

Independência gerencial dos sistemas

Os sistemas constituintes de um SoS são gerenciados individualmente, e podem operar destacados dos outros de modo eficaz.

Distribuição geográfica

Muitas vezes, os sistemas constituintes de um SoS estão distribuídos geograficamente. Com frequência, os sistemas constituintes individuais podem facilmente trocar apenas informações e conhecimento uns com os outros, sem qualquer fluxo substancial de massa física ou energia.

Comportamento emergente

O sistema de sistemas desempenha funções e realiza finalidades que podem não residir exclusivamente em nenhum dos sistemas constituintes individuais. Os principais objetivos que dão suporte à engenharia desses sistemas individuais e do sistema composto de sistemas são atendidos por esses comportamentos emergentes.

Desenvolvimento evolutivo e adaptativo

Um sistema de sistemas nunca está totalmente formado ou completo. O desenvolvimento é evolutivo e adaptativo ao longo do tempo, e as estruturas, as funções e os propósitos são adicionados, removidos e modificados conforme a experiência da comunidade com os sistemas individuais e conforme o sistema composto cresce e evolui (WELLS; SAGE, 2009).

Portanto, os elementos do SoS são independentes funcional e gerencialmente. Isso os difere dos SOI, em que seus subsistemas não são independentes, mas existem apenas para servir o sistema principal. Por exemplo, em uma aeronave, o motor é considerado um subsistema. Ele não é um sistema porque cumpre a função de fornecer propulsão apenas quando está integrado ao sistema aeronave.

Os SoS possuem uma arquitetura semelhante à dos Sol, e seus elementos são sistemas que foram otimizados para seus próprios propósitos. Pode-se afirmar que sistemas de sistemas tendem a ser deficientes, pois seus elementos são otimizados para seus próprios propósitos, e não para o SoS como um todo.



Relembrando

Como foi dito, os sistemas que constituem um sistema de sistemas têm a capacidade de funcionar autonomamente. Quando isso acontece, eles desempenham suas funções buscando o máximo de eficiência. Contudo, quando aqueles sistemas são integrados, terão que submeter o seu desempenho aos objetivos do SoS.

Propriedades, categorias e componentes de sistemas / Sistemas de Sistemas

Acompanhe agora a descrição de sistemas, de sistemas de interesse e de sistemas de sistemas.



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Vem que eu te explico!

Os vídeos a seguir abordam os assuntos mais relevantes do conteúdo que você acabou de estudar.

Categorias de sistemas



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Hierarquia do sistema



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Verificando o aprendizado

Questão 1

Os sistemas podem ser encontrados em vários ambientes e há muitas maneiras de classificá-los. Nesse aspecto, é correto afirmar que

A

os sistemas, quanto à sua natureza, podem ser naturais ou artificiais.

B

uma bateria automotiva é um sistema fechado e, por isso, não vai descarregar quando estiver desconectada do carro.

C

uma bacia hidrográfica com hidrelétricas e eclusas é um sistema natural modificado pelos seres humanos.

D

um sistema é inédito quando não foi obtido por pesquisa e desenvolvimento.

E

os sistemas abertos sofrem influência do ambiente em que operam e não se modificam ao longo do tempo.



A alternativa C está correta.

Os rios e lagos foram formados por processos naturais. Portanto, a bacia hidrográfica é um sistema natural. Por outro lado, as hidrelétricas e eclusas foram construídas pelos seres humanos e passaram a compor o sistema natural.

Questão 2

Um sistema é definido pela combinação de elementos que o compõem. Quanto a isso, é correto afirmar que

A

os sistemas são organizados sem uma composição hierárquica entre seus elementos.

B

a descrição lógica de um sistema pode ser feita pela distribuição hierárquica de suas principais funções.

C

o modelo de estrutura hierárquica de um sistema em quatro camadas (sistema, subsistemas, conjuntos e componentes) é pouco utilizado por ser muito deficiente.

D

os sistemas de interesse (*Systems of Interest*) são inerentemente descomplicados.

E

em um sistema de sistemas (*Systems of Systems*) o ideal é que todos os seus elementos tenham isoladamente o máximo rendimento possível. Afinal, se todos os elementos forem fortes, o conjunto será forte.



A alternativa B está correta.

Todo sistema tem uma missão e exerce funções para cumprir a sua finalidade. Essas funções serão distribuídas pelos seus elementos, organizados em uma estrutura hierárquica. Essa distribuição de funções na estrutura hierárquica descreve o sistema de modo funcional e constitui sua descrição lógica.

Definição de Engenharia de Sistemas

A Engenharia de Sistemas é um tipo de abordagem que se ocupa da realização de sistemas de alta complexidade, por meio de processos de desenvolvimento estruturados que passam da formulação do conceito do sistema à sua produção, sua operação, seu suporte e seu desfazimento. Ela se concentra nas necessidades dos clientes, das quais decorrerão funcionalidades a serem atendidas pelo sistema. Há diferentes definições para a Engenharia de Sistemas, com variações sutis entre elas, mas com relevantes aspectos em comum.



Engenheiro de sistemas.

Uma das características marcantes da Engenharia de Sistemas é que ela trata de aspectos como custos, operações, cronogramas, desempenho, suporte, dentre muitos outros, o que requer a integração de várias áreas diferentes e conduz à necessidade de um esforço de equipe.

Disso resulta que a perspectiva da Engenharia de Sistemas deve ter visão do todo e apoiar-se no pensamento sistêmico. Pode-se dizer que a Engenharia de Sistemas é um modo de pensar.

Aspectos da Engenharia de Sistemas

O foco no ciclo de vida é uma característica marcante da Engenharia de Sistemas, que a diferencia de outros empreendimentos. Ela gerencia todos os aspectos de um sistema ao longo das fases do ciclo de vida, desde sua concepção até seu desfazimento.

O tipo de abordagem é outro diferencial da Engenharia de Sistemas, a qual utiliza uma abordagem do tipo *top-down* (de cima para baixo), que é bem diferente da abordagem *bottom-up* (de baixo para cima), característica das atividades de engenharia.



Atenção

Outro aspecto relevante diz respeito aos requisitos. A Engenharia de Sistema focaliza a formalização dos requisitos de engenharia, assegurando-se de sua correção. Ressalta-se que também se preocupa em assegurar a otimização e o balanceamento do sistema e caracteriza-se por envolver muitas especializações e áreas.

Por fim, a atividade gerencial de todas as fases do ciclo de vida aproxima a Engenharia de Sistemas da Gestão de Projetos. Os tópicos a seguir aprofundarão cada um desses aspectos.

Foco no ciclo de vida

A norma ISO 15288:2015 divide o ciclo de vida de sistemas de interesse em seis fases.

De uma maneira geral, as fases do ciclo de vida atingem os seguintes propósitos (BRASIL, 2019):

Fase de Concepção

Avaliar demandas por sistemas, desenvolvendo estudos e modelos de engenharia que permitam propor uma solução conceitual viável.

Fase de Desenvolvimento

Realizar um projeto de engenharia que elabore uma solução técnica com base na solução conceitual proposta na fase de concepção. Essa solução deve permitir que o sistema seja produzido, testado, avaliado, operado, mantido e descartado.

Fase de Produção

Produzir a solução técnica do sistema, elaborada na fase de desenvolvimento.

Fase de Operação (ou Utilização)

Operar o sistema de interesse nos diversos ambientes operacionais planejados e garantir sua efetividade operacional continuada e a um custo aceitável.

Fase de Apoio

Prover serviços de apoio logístico que possibilitem sustentar a capacidade de operação do sistema produzido.

Fase de Desfazimento

Retirar o sistema, ao final da sua vida útil, do seu ambiente operacional, e encerrar os serviços de apoio logístico e operacionais.

A Engenharia de Sistemas mantém seu foco em todas essas fases do ciclo de vida do sistema, desde a concepção até o desfazimento. Tudo isso é levado em consideração durante os processos de tomada de decisão. No passado, era muito comum considerar opções de design apenas à luz dos problemas associados à fase de desenvolvimento e prestar pouca atenção aos aspectos de suporte ao longo da vida.



Atenção

É apropriado que os gerentes de projeto e suas equipes se concentrem nas fases de concepção e de desenvolvimento de um sistema que atenda aos requisitos das partes interessadas, minimizando o custo e o cronograma.

Uma decisão gerencial que não leve em conta todas as fases do ciclo de vida de um sistema poderá causar grandes prejuízos, principalmente na fase de utilização. Por exemplo, um orçamento subdimensionado poderá ser insuficiente para manter o sistema em operação.

Focalizar o ciclo de vida de um sistema requer atenção à capacidade do sistema, e não ao sistema em si, como produto. Com a atenção na capacidade, compreende-se melhor a composição dos custos relacionados não apenas à obtenção do sistema, mas também à sua operação, ao seu suporte e ao seu desfazimento. Essa conduta pode ser transposta para a nossa vida cotidiana.



Exemplo

Quando decidir se compra ou não um automóvel, lembre-se de que será uma falsa economia decidir essa aquisição com base apenas no preço da compra do veículo. Também devem pesar na decisão fatores sobre o consumo de combustível, o preço de peças e serviços para sua manutenção, seu valor de revenda etc.

Pode-se dizer que a atenção em todas as fases do ciclo de vida de um sistema é uma forma de se empregar o pensamento sistêmico.

Abordagem top-down e bottom-up

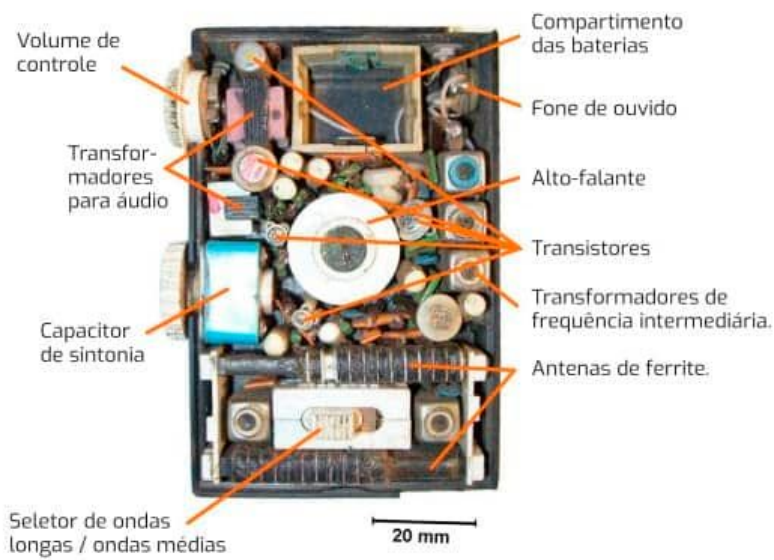
Na Engenharia de Sistemas, olha-se o sistema como um todo, o que facilita a compreensão de seu ambiente e suas interfaces. A partir daí, pode-se partir para desenvolver os requisitos no nível do sistema. O sistema é dividido em subsistemas, estes em conjuntos, que são divididos em componentes. Alcança-se a compreensão total do sistema do seu topo para baixo. Por isso, a abordagem *top-down* é a mais adequada para gerenciar sistemas complexos.

Voltando ao tipo de abordagem usada na Engenharia de Sistemas, cita-se que as áreas tradicionais de Engenharia se baseiam em uma abordagem *bottom-up*, em que se realizam primeiro o design e a construção dos componentes, para depois combiná-los em conjuntos, e daí em subsistemas e, finalmente, em um sistema. O sistema formado é testado quanto às propriedades desejadas, e o design é modificado de modo iterativo até que o sistema atenda aos critérios desejados.

A abordagem *bottom-up* é muito efetiva para a solução de problemas de engenharia bem definidos, de menor dificuldade técnica, ou que, pelo menos, já tenham sido solucionados várias vezes, como a montagem de um rádio transistorizado, e tende a não ser adequada para a solução de problemas complexos.



Rádio transistorizado



Rádio transistorizado - Parte interna

Engenharia de Requisitos

O sucesso de um sistema depende da definição de seus requisitos, que são declarações articuladas, completas e precisas do que ele deve ser capaz de realizar para cumprir os objetivos para o qual foi projetado.



Atenção

O ciclo de vida de um sistema inicia-se com a identificação das necessidades da organização. Estas serão convertidas em um grande número de requisitos, que serão a base para a estruturação do design lógico, ou seja, a disposição em uma estrutura hierárquica das funções que o sistema deve desempenhar.

Após a estruturação do design lógico, elabora-se a **arquitetura física do sistema**. Cabe dizer que mesmo o melhor design não será capaz de corrigir as falhas de requisitos mal elaborados. Por isso, o rigoroso desenvolvimento de requisitos é essencial para o sucesso da obtenção do sistema.

Depois que os requisitos são coletados, o processo de Engenharia de Sistemas se concentra na sua **decomposição**. Isso se dá em todos os níveis do sistema, desde o mais alto até o mais baixo. No chamado fluxo de requisitos, o sistema é decomposto em subsistemas, daí para conjuntos e destes para componentes.

A decomposição de requisitos refere-se à associação dos requisitos na estrutura do sistema de referência.

A etapa seguinte é alocar os requisitos ao longo do sistema e de seus componentes. Nessa etapa é preciso especial atenção à rastreabilidade dos requisitos, que é um processo de gerenciamento que identifica a origem de cada requisito e suas associações com outros requisitos, podendo ter dois sentidos de fluxo: para frente e para trás.

Na rastreabilidade para frente (*forward traceability*), os requisitos são rastreados desde o nível mais alto do sistema até os mais baixos. As decisões de design podem ser rastreadas a partir de qualquer requisito de nível de sistema especificado (um requisito-pai) até uma decisão de design detalhada (requisito-filho). Para cada requisito-pai, precisamos encontrar um ou mais requisitos-filho nos documentos de design subordinados.

O rastreamento para frente serve para investigar o impacto que uma mudança de um requisito de sistema provoca nos componentes que serão produzidos, o que vai permitir analisar quais alterações devem ser implementadas nesses componentes.



Exemplo

Em um projeto de um automóvel, a mudança no tamanho do motor terá impacto no espaço da carroceria destinado a acomodar esse motor.

Da mesma forma, qualquer decisão individual de design deve ser justificada por estar associada a pelo menos um requisito de nível superior. Esse processo se chama rastreabilidade para trás (*backward traceability*), cuja importância se expressa pela certeza de que todos os requisitos podem ser rastreados e podem ser considerados no design.

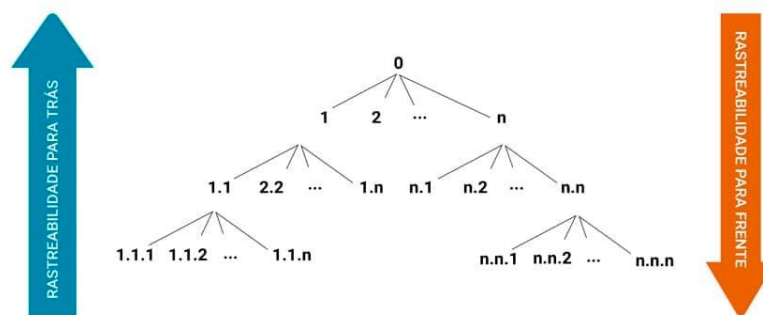
A rastreabilidade para trás impede a ocorrência de “fluência de requisitos”, (*requirements creep*), em que os requisitos são reelaborados para se tornarem mais capazes do que realmente precisariam ser. Essa prática de introdução de requisitos adicionais em determinado nível do sistema sem amparo nos requisitos de nível superior encarece os sistemas e prejudica o cumprimento de suas principais funções.



Exemplo

Suponha que no projeto de um automóvel haja como requisito que o carro seja capaz de percorrer pelo menos 20km com um litro de gasolina. Para termos um carro com esse padrão de consumo (baixo, por sinal), é necessário que o motor possua características específicas, a carroceria seja leve e muitas vezes possua componentes caros. Integrantes da equipe podem ser induzidos a propor mudanças nesse projeto por achar que alguns componentes ou materiais usados são caros demais. A compreensão da origem dos requisitos evita mudanças que podem trazer sérias implicações para o projeto e dificuldades para a sua conclusão.

A figura a seguir ilustra uma árvore com a hierarquia de requisitos, decomposições e rastreabilidade.



Rastreabilidade de requisitos.

Otimização e balanceamento

A combinação de subsistemas otimizados isoladamente não nos leva necessariamente ao melhor conjunto possível.



Exemplo

Considere o impacto de se adaptar um motor mais potente num automóvel. O motor pode ser otimizado para o máximo desempenho, mas vai degradar o restante do trem de força que foi projetado para um motor muito menos potente. Levando em conta as limitações da suspensão e dos freios, o motor adaptado impulsionaria o carro com muito mais rapidez do que seria seguro.

Um sistema equilibrado exigirá que seus subsistemas e conjuntos operem abaixo do seu rendimento máximo, de modo a permitir que o todo resultante possa alcançar a melhor performance possível.

Integração de especializações

A obtenção de um sistema otimizado e equilibrado requer um esforço integrado de várias áreas e especialidades técnicas. É muito difícil que um sistema complexo possa ser projetado por especialistas de um único ramo do conhecimento. Esse é o caso do projeto de uma aeronave, cujo design, desenvolvimento, produção, operação e manutenção exigem a integração de conhecimentos em física, engenharia aeronáutica, metalurgia, química etc.

Em termos de sistema, outras disciplinas de Engenharia são necessárias para testes e suporte à logística e manutenção, bem como ao design e à construção de instalações como pistas, hangares, instalações de reabastecimento, instalações de embarque e desembarque, e assim por diante.

Há também o envolvimento de pessoal de outras especialidades como marketing, finanças, contabilidade, jurídico e ambiental. Em resumo, pode haver centenas, até milhares, de engenheiros e membros de outras disciplinas envolvidos na entrega de um único sistema de aeronave.



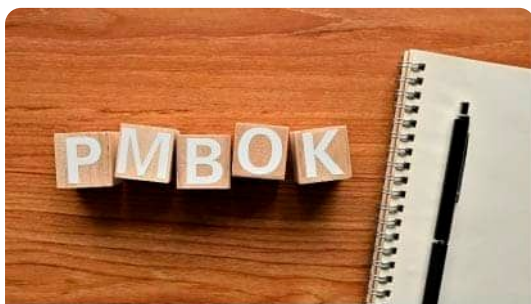
Atenção

O objetivo da Engenharia de Sistemas é definir as tarefas que podem ser concluídas por essas diferentes especialidades e, em seguida, fornecer à gerência do projeto a integração de seus esforços para produzir o sistema que atenda aos requisitos dos usuários.

Nos desenvolvimentos de sistemas modernos, essa função é ainda mais importante devido à complexidade de grandes projetos, muitas vezes empregando pessoal disperso pelo país inteiro ou mesmo trabalhando no exterior.

Aproximação com o Gerenciamento de Projetos

Embora a Engenharia de Sistemas possua um claro viés técnico, ela também se encarrega de várias atividades de natureza gerencial. O Gerenciamento de Projetos objetiva garantir que o sistema seja entregue dentro do prazo e do orçamento e que atenda às expectativas dos clientes. Esses objetivos serão alcançados considerando as compensações e os compromissos identificados pelos processos conduzidos pela Engenharia de Sistemas.



Boas-práticas.

As boas práticas de gestão de projeto utilizam a metodologia do *Project Management Book of Knowledge* (PMBOK), editado pelo *Project Management Institute* (PMI), que define a condução estruturada de um projeto por meio do gerenciamento do escopo, do tempo, dos custos, da qualidade, dos riscos, da comunicação, dos recursos humanos, da aquisição, da integração e dos interessados.



Comentário

O PMI é uma associação de âmbito mundial, que desde 1969 busca compartilhar as melhores práticas de Gerenciamento de Projetos. No âmbito da Engenharia de Sistemas destaca-se o International Council on Systems Engineering (INCOSE), organização fundada em 1990, com a missão de gerar e difundir os conhecimentos sobre o assunto.

O PMBOK define projetos como um esforço temporário empreendido para criar um produto, um processo, um serviço ou um resultado exclusivo. Trata-se de um conjunto de atividades ou medidas planejadas para serem executadas com responsabilidade de execução definida, a fim de alcançar determinados objetivos, dentro de uma abrangência definida, num prazo de tempo limitado e com recursos específicos.

Embora já fosse considerada desde o início deste século, a integração entre as metodologias da Engenharia de Sistemas e da Gestão de Projetos intensificou-se a partir de 2011, quando o PMI e o INCOSE elaboraram uma estratégia conjunta para superar as barreiras culturais e rivalidades entre os profissionais das duas áreas. As publicações mais recentes do Manual de Engenharia de Sistemas, editado pelo INCOSE, já estabelecem procedimentos orientando como realizar atividades integradas aos procedimentos determinados pelo PMBOK.

A imagem abaixo ilustra assuntos que são tipicamente abordados na Engenharia de Sistemas, na Gestão de Projetos, e assuntos que por serem abordados por ambas as áreas de conhecimento estão colocados na interseção.



Atribuições da Engenharia de Sistemas e do Gerenciamento de Projetos.

A Engenharia de Sistemas (Systems Engineering) e a Gerência de Projetos

Veja agora a definição e os aspectos da Engenharia de Sistemas e seu relacionamento com a Gerência de Projetos. Vamos lá!



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Vem que eu te explico!

Os vídeos a seguir abordam os assuntos mais relevantes do conteúdo que você acabou de estudar.

Aspectos da Engenharia de Sistemas



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Aproximação com o gerenciamento de projetos



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Verificando o aprendizado

Questão 1

A Engenharia de Sistemas é um tipo de metodologia adequada para a realização de sistemas complexos. Marque a alternativa correta sobre uma característica dessa metodologia.

A

A concepção de um sistema considera os aspectos relacionados à sua obtenção, sem considerar as questões relativas ao suporte do sistema, que são tratadas oportunamente quando o sistema entra em operação.

B

A Engenharia de Sistemas adota uma abordagem *bottom-up*, em que primeiro se pensa no sistema como um todo, para depois desenvolver os requisitos dos subsistemas, conjuntos e componentes.

C

A combinação de elementos otimizados necessariamente leva a um sistema de máximo desempenho.

D

O desenvolvimento de uma aeronave de combate é um trabalho exclusivo de engenheiros.

E

A Engenharia de Sistemas foca o ciclo de vida e os fatores que constituem a capacidade do sistema.



A alternativa E está correta.

O ciclo de vida é o principal foco da Engenharia de Sistemas e requer mais atenção à geração de capacidade do que à geração de um produto.

Questão 2

A Engenharia de Sistemas tem um viés técnico, mas também se ocupa de atividades de natureza gerencial. A respeito da Engenharia de Sistemas, do Gerenciamento de Projetos e das metodologias do INCOSE e do PMI, podemos afirmar que

A

o PMI e o INCOSE são instituições que disputam entre si qual delas é mais relevante para estabelecer normas quanto à Engenharia de Sistemas.

B

a Engenharia de Sistemas e a Gerência de Projetos possuem várias atividades em comum.

C

a integração das metodologias do INCOSE e do PMI tem sido muito acelerada desde os anos 1990.

D

o PMBOK, editado pelo INCOSE, estabelece as boas práticas para a Gerência de Projetos.

E

as atividades comuns entre a Engenharia de Sistemas e o Gerenciamento de Projetos são de caráter predominantemente técnico, incluindo, por exemplo, aspectos relacionados à elaboração de requisitos.



A alternativa B está correta.

A Engenharia de Sistemas trata de assuntos como prazos de execução e custos de obtenção de sistemas que são de natureza gerencial e constituem o foco do Gerenciamento de Projetos. A integração das metodologias do INCOSE e do PMI intensificou-se no início da década de 2010.

Considerações finais

A inovação acompanha a história do ser humano desde muito antes do surgimento do *Homo sapiens*. Nas últimas décadas, o caminho da evolução tecnológica acelerou seu passo, apresentando desafios cada vez mais complexos.

Concebida por um biólogo, a Teoria Geral dos Sistemas fez surgir o pensamento sistêmico, uma nova forma de pensar que integrou os diferentes ramos do conhecimento humano para resolver a crescente complexidade dos problemas.

Em nosso estudo, abordamos os conceitos e as propriedades dos sistemas, tarefa necessária para a compreensão dos fundamentos da Engenharia de Sistemas e seu relacionamento com a Gerência de Projetos.

Pensar na totalidade de um sistema implica tratar de todo o seu ciclo de vida, desde a concepção até o desfazimento. A tarefa da Engenharia de Sistemas é alcançar soluções que atendam às necessidades das organizações, num trabalho de integração que busca otimizar o desempenho de todo conjunto ao mesmo tempo em que se mantém o seu equilíbrio.

Por fim, vimos como o homem tem aplicado lições aprendidas da Biologia à consecução de empreendimentos complexos e inovadores.

Podcast

Agora faremos uma revisão dos conceitos apresentados, com a finalidade de recapitular e reforçar conhecimentos.



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para ouvir o áudio.

Explore +

Para se aprofundar no conteúdo abordado, recomendamos:

- Além das obras referenciadas neste conteúdo, consulte o livro **System Engineering Management**, de Benjamin S. Blanchard e John E. Blyler, que é uma das mais completas e influentes publicações sobre a Engenharia de Sistemas.

Referências

ANDRADE, E. M. A. O. R. **Fatores do pensamento sistêmico como potencializadores de sucesso de software no setor público**. Aracaju: Editora do Instituto Federal de Sergipe, 2016.

ARAÚJO, A. C. M. de. **Uma revisão sobre os princípios da Teoria Geral dos Sistemas**. Estação Científica, nº 16, jul./dez. 2016.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Fundamentos, desenvolvimento e aplicações. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 1972.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Manual de Boas Práticas para a Gestão do Ciclo de Vida de Sistemas de Defesa - MD40-M-01**. 1. ed. Brasília, 2019.

CANDIDO, R. *et al.* **Gerenciamento de projetos**. Curitiba: Aymar, 2012.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 9. ed. São Paulo: Manole Ltda, 2015.

COCCIA, M. **The economics of science and innovation**. Turkey: Ksp books, 2018.

DALAL, R. **A compacta história do mundo**. São Paulo: Universo dos Livros, 2016.

ELECTRONIC INDUSTRIES ALLIANCE. **EIA. EIA Standard ANSI/EIA-632-1998 - Processes for Engineering a System**. United States of America: Electronic Industries Alliance, 1999.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING. INCOSE. **Systems Engineering Handbook: a guide for system life cycle processes and activities**. United States of America: International Council on Systems Engineering, 2007.

_____. **Systems Engineering Handbook: a guide for system life cycle processes and activities**. 4th ed. United States of America: John Wiley & Sons Inc., 2015.

ISO/IEC/IEEE 15288:2015. **Systems and software engineering - System life cycle processes**. 1st ed. Switzerland, 2015.

McCLAMROCH, N. **Steady Aircraft Flight and Performance**. Princeton University Press. Estados Unidos da América: Princeton University Press, 2011.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. NASA. **Nasa Systems Engineering Handbook**. Estados Unidos da América, 2007. Consultado na internet em: 13 de dez. de 2021.

RYAN, M.; FALCONBRIDGE, I. **Introdução à Engenharia de Sistemas**. Austrália: University of New South Wales, 2017, p. 35.

WECK, O. de; ROSS, D.; MAGEE, C. **Engineering Systems: meeting human needs in a complex technological world**. United States of America: The Massachusetts Institute of Technology, 2011. E-book.

WELLS, G.; SAGE, A. Chapter 3 - Engineering of a System of Systems. *In*: JAMSHIDI, M. (Coord). **Systems of Systems Engineering – innovations for the 21st century**. United States of America: John Wiley & Sons Inc., 2009.