



Os sistemas e outras áreas de conhecimento

Aplicação da Teoria Geral dos Sistemas nas Ciências Sociais. Evolução contínua da engenharia de sistemas e suas implicações na mudança dos perfis dos profissionais. Aspectos econômicos, ambientais, políticos e humanos nos projetos de engenharia.

Prof. Clóvis Eduardo Godoy Ilha

Propósito

Compreender o inter-relacionamento dos diferentes ramos do conhecimento humano nas práticas da engenharia de sistemas, bem como as implicações do crescente avanço tecnológico no perfil dos profissionais que nela atuam.

Objetivos

- Reconhecer a influência do pensamento sistêmico na evolução das Ciências Sociais e na formação de novos esquemas de trabalho conjunto.
- Relacionar a evolução da engenharia de sistemas e os riscos dos avanços tecnológicos disruptivos na condução dos empreendimentos humanos.
- Identificar as atuais características profissionais dos engenheiros de sistemas e o esperado deles no futuro.
- Avaliar a abordagem dos aspectos humanos, econômicos, ambientais e sociais em projetos de engenharia de grande complexidade.

Introdução

A partir de meados do século XX, a Teoria Geral dos Sistemas (TGS), formulada pelo biólogo austríaco Ludwig Von Bertalanffy (1901-1972), provocou uma mudança na forma de se compreender problemas complexos ligados tanto a empreendimentos produtivos quanto ao tratamento de assuntos relacionados às Ciências Sociais. A sinergia entre os diferentes ramos do conhecimento induziu novos esquemas de trabalho conjunto com reflexos na gestão dos projetos de engenharia.

Com o passar dos anos, a sucessão de novos desafios técnicos levou ao aperfeiçoamento metodológico da engenharia de sistemas. O rápido – e, por vezes, disruptivo – avanço tecnológico apresenta oportunidades e riscos para os profissionais da área, exigindo novas habilidades para a execução de suas tarefas e a gestão de sistemas complexos.

A aplicação dos métodos da engenharia de sistemas permite tanto realizar grandes empreendimentos como orientar a solução de projetos de menor complexidade. Já os casos práticos demonstram os benefícios de se considerar, desde o início do ciclo de vida do sistema, suas implicações quanto aos aspectos humanos, econômicos, ambientais e sociais.

A sinergia das Ciências Sociais, da Administração e da Engenharia no século XXI

Antecedentes

Nos anos 1950, a comunidade científica reconheceu a importância da TGS formulada por Bertalanffy, que apresentava uma abordagem para identificar a inter-relação dos diferentes ramos do conhecimento. Como consequência da adoção dessa teoria, houve a disseminação do conceito do pensamento sistêmico, que é uma forma de pensar e compreender os sistemas em sua totalidade.



Curiosidade

Desde sua criação, a TGS foi sendo gradativamente aplicada às Ciências Sociais em disciplinas, como, por exemplo, Sociologia, Economia, Ciência Política, Psicologia Social e Antropologia. A presença cada vez mais marcante da teoria dos sistemas no âmbito das Ciências Sociais mudou a forma de se analisar os problemas humanos – agora compreendidos na forma de sistemas.

Tal mudança tem exercido decisiva influência no desenvolvimento das ciências em geral. A mesma mudança também tem ocorrido na Administração, em que o sucesso das organizações depende do modo como elas são dirigidas.

Os administradores, afinal, lidam com diferentes fatores, como tarefas, estrutura, organização, pessoas, ambiente, tecnologia e competitividade, cujo inter-relacionamento pode ser mais bem compreendido por meio do pensamento sistêmico.



Comentário

Pode-se considerar uma empresa como um sistema composto por muitos outros subsistemas, como o subsistema de compras, o de contas a pagar ou o do almoxarifado.

A identificação das divisões e das subdivisões de uma empresa, portanto, ajuda a mapear os seus processos internos e melhorar suas rotinas de trabalho.

Há uma sinergia entre as Ciências Sociais, a Administração e a engenharia de sistemas, seja pela crescente relevância dos aspectos humanos, políticos e sociais nos projetos de grande envergadura, seja pelo seguinte aspecto contemporâneo mais desafiador para as organizações: conjugar a crescente tendência do trabalho remoto com as metas e os processos produtivos das empresas. O trabalho multidisciplinar é uma prática fundamental na engenharia de sistemas.

A concepção dos sistemas complexos exige a realização de estudos em diferentes temas, como aqueles relacionados à fisiologia, à ergonomia, à psicologia e à análise de riscos, de relações de trabalho e de impactos ambientais.



Comentário

Desse modo, a questão do trabalho a distância interessa tanto à administração científica como à engenharia de sistemas, que precisa encontrar modos mais eficientes em termos de tempo e recursos para as suas atividades em equipe.

A sinergia dessa engenharia com as Ciências Sociais também se manifesta na criação de novos esquemas de trabalho conjunto – entre os quais, destaca-se a hélice tríplice.

Hélice tríplice

Concebida no âmago das Ciências Sociais, os esquemas da hélice tríplice têm sido cada vez mais aplicados para o desenvolvimento de sistemas complexos.



Atenção

Na década de 1990, Henry Etzkowitz e Loet Leydesdorff propuseram a ideia da hélice tríplice, conceito de gestão elaborado como parte de uma abordagem sociológica de grande relevância no ambiente acadêmico dos Estados Unidos da época.

Na origem desse conceito, havia a ideia de que a geração de inovações era favorecida por interações entre os interlocutores da academia, da indústria e do governo (CAI; ETZKOWITZ, 2020).

Suponha que a inovação seja um forte indutor de desenvolvimento econômico e social. Os países com os avanços mais expressivos na ciência e na tecnologia são aqueles em que o Estado, as universidades e as empresas interagem entre si da melhor forma. Tal interação favorece a inovação tecnológica, pois reúne três atores fundamentais:

Empresa

Volta suas atividades para a produção.

Universidade

É uma fonte de novos conhecimentos e tecnologias.

Governo

Atua tanto como facilitador como garantidor de relações estáveis de troca.

O mérito da hélice tríplice está na sua capacidade de criar, compartilhar e disseminar as inovações.

As **universidades** podem ser descritas como instituições de ensino superior com a missão principal de formar mão de obra qualificada, embora também sejam centros de geração e disseminação de conhecimentos.

Contemporaneamente, existe uma tendência da universidade (ou da academia) assumir uma postura empreendedora e proativa, buscando agregar valor econômico e social à inovação.

Quando isso acontece, seus professores e alunos esforçam-se para alcançar resultados úteis para a sociedade. No arranjo da hélice tríplice, a academia passa a definir suas linhas de pesquisa a partir de demandas surgidas de sua interação com a indústria e o governo.

Outro ator da hélice tríplice, a **indústria(ou empresa)** é tanto o local de produção quanto de uso das inovações. Para isso, a empresa precisa buscar mão de obra qualificada e, muitas vezes, recorrer a consultores externos quando precisa resolver assuntos técnicos de maior complexidade, o que aproxima a indústria da universidade.



Atenção

Assim como ocorre na pesquisa básica, o aprendizado resultante da interação da indústria com a academia, muitas vezes, não encontra aplicação imediata, mas, mesmo assim, a experiência de se percorrer o processo de inovação quase sempre enriquece o estoque de conhecimentos.

Por fim, o **governo**, o terceiro ator da hélice tríplice, atua como empreendedor público, estimulando a interação entre a academia e a indústria. Isso pode ser alcançado tanto por meio de fontes de financiamento para pesquisa e desenvolvimento quanto pelo estabelecimento de marcos regulatórios que facilitem a troca de conhecimentos (BENCKE *et al.*, 2018).

Etzkowitz e Leydesdorff (2000; 2013) identificaram três modalidades de hélice tríplice:

Estatista

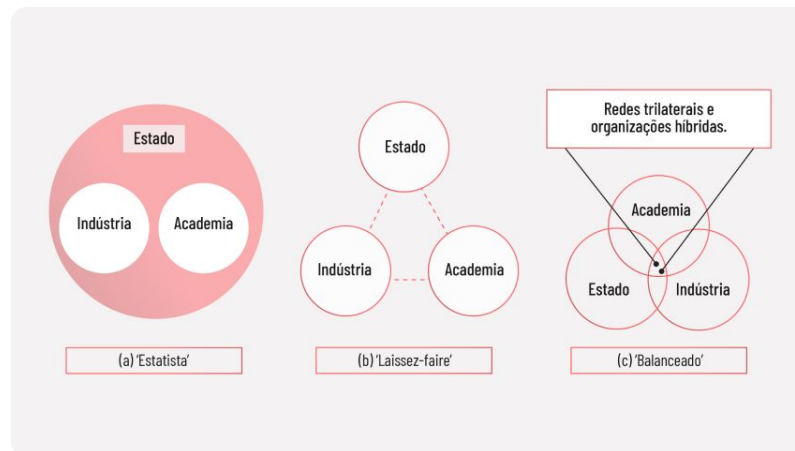
O governo exerce a liderança sobre a academia e a indústria, limitando as iniciativas desses dois atores.

Laissez-faire

O modelo *laissez-faire* é o oposto dessa configuração estatista. Nessa modalidade, o grau de intervenção estatal é baixo, e a indústria assume o protagonismo das relações. Nele, a universidade atua principalmente como provedor de capital humano, enquanto o governo age como regulador dos mecanismos sociais e econômicos.

Balanceada

A universidade, o governo e a indústria compartilham a liderança em iniciativas conjuntas e sinérgicas no processo de inovação.



Três modalidades de hélice tríplice.

Cai e Etzkowitz (2000) observaram a presença de três modalidades de hélice tríplice experimentadas pelos EUA em diferentes momentos históricos, conforme veremos a seguir.

1

Primeiro momento

Inicialmente, houve a aplicação do modelo estatista durante a Segunda Guerra Mundial, ocasião em que o governo assumiu a liderança dos empreendimentos envolvendo a academia e a indústria.

2

Segundo momento

Posteriormente, houve, na chamada “Guerra Fria”, a preponderância do modelo laissez-faire até que, alguns anos depois, se chegasse ao modelo balanceado, com destaque para a experiência bem-sucedida do Vale do Silício, nos Estados Unidos.

No Vale do Silício, o financiamento de pesquisas pelo governo levou à formação da empresa Hawlett-Packard a partir de um projeto científico até então conduzido pela Universidade de Stanford. O posterior crescimento das indústrias nessa região foi implementado pelas compras de componentes eletrônicos, isto é, os transistores, pelo governo, o que foi gerando nela uma base industrial de forte conteúdo tecnológico e indutora de desenvolvimento econômico.

Tendo suas origens fincadas nas Ciências Sociais, a hélice tríplice é um modelo bem-sucedido da integração de esforços para promover a inovação. Isso resultou em:

1. Incremento da transferência de tecnologia.
2. Criação de novos arranjos produtivos.
3. Aumento dos índices de crescimento econômico e desenvolvimento social.

Incubadoras e as startups

A plataforma da hélice tríplice dá o suporte para a criação de tipos de organizações. Esse é o caso das **incubadoras**, as quais, na prática, transportam para o universo empresarial o conhecimento tecnológico gerado no meio acadêmico.

Incubadoras

São estruturas de apoio à inovação e se caracterizam pelo compartilhamento por tempo determinado de suas instalações e serviços de natureza administrativa ou logística (BENCKE et al., 2018).



Comentário

Uma incubadora de empresas constitui uma organização cujo objetivo é estimular ou prestar, de alguma forma, um apoio logístico, gerencial e tecnológico ao empreendedor inovador, assim como disseminar intensivamente o conhecimento, com o intuito de facilitar a criação e o desenvolvimento de empresas inovadoras (BRASIL, 2004).

As incubadoras concentram conhecimentos e aliviam os encargos administrativos, estimulando a criação das chamadas *startups*.



Comentário

As startups são organizações inovadoras que atuam em ambientes de grande incerteza, operando, por isso, com limitada quantidade de pessoal. Além disso, elas exigem baixos custos de manutenção. Sua geração de valor depende da capacidade de encontrar soluções inovadoras para as demandas do mercado, seja criando um novo produto ou serviço, seja melhorando algo que já existe.

O sucesso do conceito da hélice tríplice demonstra os benefícios da sinergia entre as Ciências Sociais, a Administração e a Engenharia, o que redundou na criação de organizações empresariais de forte base tecnológica.

Esse modelo relativamente recente de geração, disseminação e utilização das inovações, tem os seguintes direcionamentos:

1. Envolve atores de diferentes setores.
2. Age transversalmente por diversas áreas do conhecimento.
3. Impulsiona as transformações do século XXI.

A Engenharia de Sistemas e suas interações com outras áreas de conhecimento

Assista agora a uma abordagem complementar ao conteúdo estudado neste módulo.



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.

Hélice tríplice



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Incubadoras e startups



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Verificando o aprendizado

Questão 1

Indique a alternativa correta sobre a adoção da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) pelas Ciências Sociais.

A

A sinergia da engenharia de sistemas com as Ciências Sociais se manifesta pela criação de conceitos inovadores de gestão, como o da hélice tríplice.

B

O pensamento sistêmico facilita a compreensão de problemas complexos sempre ligados a empreendimentos produtivos.

C

A formulação conceitual dos projetos de engenharia de empreendimentos complexos pouco tem a ver com aspectos humanos, ambientais, políticos e sociais.

D

A adoção da TGS no âmbito das Ciências Sociais não impactou significativamente a forma de se pensar os problemas humanos.

E

A adoção do pensamento sistêmico manifesta-se por uma maior integração dos diferentes ramos do conhecimento, mas a TGS encontra pouca aplicação prática na atividade de gerenciamento de projetos, que é essencialmente burocrática e se limita apenas ao emprego dos modelos de documentos estabelecidos pelo Project Management Institute (PMI).



A alternativa A está correta.

A tríplice hélice é resultado de uma abordagem sociológica no ambiente acadêmico nos Estados Unidos. Trata-se de um conceito de gestão com aplicação na engenharia de sistemas.

Questão 2

Sobre o conceito da hélice tríplice, é correto afirmar que

A

trata-se de um conceito de gestão empregado somente na engenharia de sistemas.

B

na sua modalidade “estatista”, a indústria impõe sua vontade sobre a academia e o governo.

C

na modalidade “balanceada”, os três atores (governo, indústria e academia) buscam sinergias entre si para impulsionar a inovação.

D

a aplicação da hélice tríplice dificulta a formação de incubadoras e startups.

E

na história, só se encontra casos de aplicação da hélice tríplice após a sua conceituação formal na década de 1990.



A alternativa C está correta.

A tríplice hélice é resultado de uma abordagem sociológica no ambiente acadêmico nos Estados Unidos. Trata-se de um conceito de gestão com aplicação na engenharia de sistemas.

A evolução contínua da engenharia de sistemas e a questão dos efeitos colaterais previsíveis e não previsíveis

Origens e evolução da engenharia de sistemas

Como já verificamos, a engenharia de sistemas surgiu em meados do século XX como resposta à necessidade de se adotar novas técnicas que solucionassem os problemas que afetavam a confiabilidade e mesmo a operação de equipamentos complexos.

Nos anos 1950, cientistas e pesquisadores das empresas norte-americanas RAND, RCA e Bell realizaram diversos avanços em sistemas de telecomunicações e de energia elétrica, dando um grande impulso à engenharia de sistemas.

Você já ouviu falar nas empresas RAND, RCA e Bell?

Veja, a seguir, as importantes contribuições que elas deram para a engenharia de sistemas.

1

RAND

A corporação RAND foi fundada logo após a Segunda Guerra Mundial. Em 1946, ela realizou o primeiro design de um satélite por intermédio de uma metodologia própria de análise de sistemas, a qual, aliás, é considerada um dos conceitos fundamentais da engenharia de sistemas (HOSSAIN *et al.*, 2019).

2

RCA

A RCA, por sua vez, era uma empresa de eletrônica pioneira no ramo de telecomunicações, tendo desenvolvido a abordagem de sistemas para as televisões preto e branco.

3

Bell

Por fim, os laboratórios Bell estabeleceram-se como uma organização de pesquisa industrial e desenvolvimento científico, tendo sido na introdução, em sua estrutura, de um grupo de engenharia de sistemas.

No final da década de 1950, o **Programa Atlas**, destinado ao desenvolvimento de mísseis balísticos intercontinentais, foi bastante significativo no estágio inicial da engenharia de sistemas. Esse programa criou uma estrutura organizacional encarregada de monitorar e coordenar todas as atividades necessárias para o projeto, como testes de desenvolvimento, integração e verificações, além de validações dos sistemas.

O Programa Atlas utilizou uma abordagem de design do tipo *top-down*, na qual primeiramente o sistema era visto como um todo para só depois detalhar seus componentes.



Comentário

Um fator essencial para o sucesso do programa foi o seu caráter interdisciplinar, já que ele envolvia a participação de milhares de engenheiros, cientistas, empreiteiros e especialistas. Com isso, foi possível lidar com aquele empreendimento complexo de grande escala, bem como gerenciar a dinâmica da tecnologia (HOSSAIN et al., 2019).

Nos anos 1980, introduziu-se o conceito de gestão de ciclo de vida de sistemas baseado nas seguintes fases:

- **Identificação do problema.**
- **Definição do problema.**
- **Planejamento e design do sistema.**
- **Construção, operação e desfazimento.**

O intervalo compreendido entre a década de 1990 e os dias atuais vem experimentando o rápido avanço e espalhamento da engenharia de sistemas, com muitas perspectivas e conceitos sendo articulados, além do desenvolvimento de métodos e ferramentas de apoio à gestão do ciclo de vida de sistemas e de um crescente número de eventos e publicações sobre a disciplina.

Atual situação da engenharia de sistemas

A engenharia de sistemas está focada na produção de sistemas que atendam às necessidades dos usuários, tendo as melhores condições de operação e sendo capazes de atingir a sua vida operacional desejada. Desse modo, o engenheiro de sistemas deve equilibrar o desempenho superior e as restrições de prazos e orçamentos dos projetos. Em muitos aspectos, o exercício da engenharia de sistemas envolve justamente o equilíbrio de objetivos conflitantes.



Atenção

A engenharia de sistemas normalmente considera a aplicação de uma nova tecnologia ao desenvolvimento de um sistema enquanto, ao mesmo tempo, gerencia os riscos inerentes que essa tecnologia representa.

Atualmente, há três fatores que governam a engenharia de sistemas:

Rápidos avanços tecnológicos

Eles fornecem oportunidades para aumentar as capacidades dos sistemas, mas também acarretam riscos para o seu desenvolvimento. Tais riscos e a própria complexidade inerente aos sistemas mais modernos requerem o uso da metodologia de gerenciamento da engenharia de sistemas. Isso fica muito evidente na automação.

Os avanços tecnológicos nas interfaces homem-sistema, robótica e software tornam a automação uma das tecnologias de crescimento mais rápido, tendo um forte impacto no desenvolvimento de novos sistemas.

Acirrada concorrência

Ocorrendo tanto no meio empresarial quanto entre países, tal concorrência leva a uma constante disputa pela dianteira na aplicação de tecnologias inovadoras em sistemas e materiais cada vez mais avançados tecnologicamente, mas que, devido ao seu ineditismo, apresentam sérios riscos em termos de desempenho e custos. A disputa tecnológica aumenta as chances de se realizar enormes gastos no desenvolvimento de um produto que ficará obsoleto após um período muito curto de utilização.

Crescente modularidade

Os sistemas tendem a ser cada vez mais modulares, ou seja, constituídos por elementos que podem ser aplicados em muitos sistemas diferentes. Tais elementos são projetados e construídos por especialistas e requerem um gerenciamento rigoroso de suas interfaces e interações.

A crescente modularidade facilita a interoperabilidade entre os sistemas, porém prejudica a otimização de seus desempenhos. Dificilmente um elemento modular estará totalmente adequado ao sistema como um todo.

O avanço tecnológico

O assunto “avanço tecnológico” impõe o esclarecimento de alguns conceitos. Entende-se por tecnologia o conhecimento sobre as técnicas, e elas envolvem as aplicações de tal conhecimento em produtos, serviços e processos. Também é preciso esclarecer a diferença entre invenção e inovação.

Invenção

A invenção pode ser entendida como a criação de um processo, uma técnica ou um produto inédito.

Inovação

Já a inovação ocorre com a efetiva aplicação prática de uma invenção, transformando-a em um novo produto ou serviço.

Assim, **não existe inovação sem invenção**, bem como não há técnicas sem tecnologia (TIGRE, 2006).

A discussão sobre a incorporação de inovações tecnológicas em produtos e sistemas não é recente. Nas décadas de 1950 e 1960, estudiosos do assunto dividiram-se entre os que defendiam a ideia de que a inovação era consequência de avanços da ciência e tecnologia (*Technology push*), e quem afirmava que ela era provocada por demandas do mercado (*Demand pull*). As duas abordagens, entretanto, sofriam críticas e contestações.

Segundo Tigre (2006), as mudanças tecnológicas podem ser:

Incrementais

Elas são representadas pelas contínuas melhorias no design e na qualidade dos produtos, nos constantes aperfeiçoamentos dos processos produtivos e nos novos arranjos organizacionais e logísticos. As mudanças incrementais ocorrem de forma contínua em qualquer indústria e não derivam necessariamente de atividades de pesquisa ou de desenvolvimento.



Radicais

Rompe com os limites da melhoria contínua, provocando saltos de produtividade e frequentemente iniciando novas rotas tecnológicas incrementais. A mudança radical quase sempre é resultado de atividades de pesquisa e desenvolvimento e tem um caráter descontínuo no tempo.

Os riscos do avanço tecnológico

Ao longo da história, as mudanças na economia têm sido impulsionadas pelo surgimento e pela disseminação de tecnologias de uso geral que transformam os processos produtivos, provocando rápidas quedas de custos e substanciais melhorias na eficiência da produção.

Nas décadas de 1990 e 2000, o acelerado desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação (TIC) provocaram mudanças tecnológicas radicais em produtos, serviços e processos industriais, embora, nos últimos anos, esse ritmo de crescimento tenha desacelerado.



Comentário

De 1989 a 1994, as melhorias em sistemas operacionais, chips de computador e velocidade de transmissão de informações provocaram um aumento na produtividade industrial nos EUA 21 vezes maior que a ocorrida entre 2011 e 2016 (ATKINSON, 2018).

Devido à desaceleração das inovações causadas pelo desenvolvimento das TIC, o estágio atual é de melhorias incrementais nos sistemas produtivos. Entretanto, nota-se o surgimento de uma onda de transformações tecnológicas disruptivas baseadas na inteligência artificial, na robótica, nos dispositivos autônomos e nos novos materiais.



Atenção

Embora essas tecnologias já estejam disponíveis no mercado, elas ainda são muito caras e não conseguem – por enquanto, frisamos – impulsionar a produtividade em toda economia.

Contudo, caso a próxima onda de tecnologias siga as trajetórias tecnológicas anteriores, ela provavelmente experimentará rápidos declínios nos preços e acarretará melhorias significativas de desempenho nas próximas décadas (ATKINSON, 2018).

A perspectiva de uma próxima onda de mudanças radicais levanta algumas preocupações, pois os avanços tecnológicos sempre apresentam riscos. A inovação, afinal, leva à produção de novos sistemas, materiais e processos cujas características ainda não são totalmente compreendidas. O emprego de tecnologias muito recentes em um sistema pode redundar em problemas de difícil solução, com quedas no desempenho esperado e aumento dos custos de produção, operação e suporte.

Trade-off

O conceito de *trade-off* remete ao processo decisório para escolher uma opção tecnológica em detrimento de outra. As decisões envolvem comparações entre alternativas, escolhendo-se aquela com o resultado mais desejável.

Isso é frequente na indústria, uma vez que, quanto mais complexo o produto, maiores são as dificuldades e os custos para sua fabricação (TIGRE, 2006). Um dos aspectos mais interessantes e desafiadores da engenharia de sistemas é a sua estreita relação com a inovação e o avanço tecnológico.



Comentário

A fase de concepção de um produto ou sistema envolve estudos para avaliar as tecnologias de uso potencial e para determinar a possibilidade de sua aplicação no projeto.

Tais questões são novamente abordadas durante o estágio de desenvolvimento. Elas são recorrentes durante o período de operação, levando-se em consideração as possibilidades de sua modernização (INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING, 2015).

O desenvolvimento de um produto ou sistema implica centenas de decisões importantes envolvendo a alta administração da organização e os engenheiros e técnicos encarregados de sua implementação (TIGRE, 2006). Ressaltamos que essa situação constitui um dos pontos de convergência entre a gestão de projeto e a engenharia de sistemas.

Nos processos decisórios, frisa Kossiakoff (2011), é importante:

1. Estabelecer claramente os objetivos do produto ou sistema.
2. Identificar as alternativas disponíveis para seu desenvolvimento.
3. Definir os critérios de seleção das alternativas.
4. Atribuir valor a cada alternativa.
5. Decidir e avaliar os resultados da decisão.

Interfaces

A incorporação de novas tecnologias torna os sistemas atuais cada vez mais complexos. Pontuamos, porém, que complexidade é diferente de complicação. Veja a seguir:

Complexidade

Os sistemas complexos apresentam propriedades emergentes que só se manifestam no sistema como um todo. Na engenharia de sistemas, tem sido cada vez mais frequente o desenvolvimento de sistemas de sistemas (SoS), os quais, por sua vez, são inerentemente complexos.



Complicação

Um sistema formado por várias partes interagindo entre si pode ser complicado, e não complexo. Um sistema complicado pode ser entendido pela abordagem analítica tradicional, desmontando suas partes e analisando-as separadamente.

A gestão das interfaces é um aspecto crítico, pois cada sistema componente de um **SoS** (*Systems of Systems*) constitui, por si só, uma entidade autônoma. Além disso, a arquitetura das interfaces do sistema implica, como um todo, resolver difíceis problemas de interoperabilidade, escalabilidade e segurança.



Exemplo

Pode-se entender a magnitude desse problema quando se pensa nas questões vinculadas à interface de dois sistemas independentes. Esse é caso dos dispositivos autônomos, os quais, embora se situem entre as prováveis tecnologias disruptivas do futuro, já estão disponíveis na atualidade.

Os sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (**SARP**) são um tipo de dispositivo autônomo já amplamente empregado para diversas finalidades, como na agricultura e na construção civil, ainda que sua atuação se dê particularmente em projetos do setor de defesa.

Existem, afinal, planos para a integração, em determinadas missões, dos SARP com sistemas de aeronaves de combate tripuladas. Algumas operações serão conduzidas por aeronaves tripuladas convencionalmente misturadas com outras não tripuladas.

As aeronaves terão de se comunicar entre si para coordenar suas ações. Cada um dos dois sistemas possui características próprias.



Comentário

Os SARP possuem maior autonomia de voo, enquanto os sistemas tripulados geralmente detêm maior poder de fogo. No caso de atuação conjunta de um SARP e um avião tripulado, os dois sistemas deverão interagir entre si, estabelecendo canais para a troca de informações e a coordenação das ações.

Com isso, haverá um esforço para conceber, desenvolver e operar a interface entre os dois sistemas. Embora sejam entidades autônomas, ambas, uma vez integradas, formam um SoS com maior gama de possibilidades de atuação conjunta.

Existe uma tendência para que esse tipo de integração ocorra com mais frequência, resultando em sistemas com muito mais capacidades. No entanto, eles também apresentarão problemas cada vez mais complexos.

A evolução da Engenharia de Sistemas e os riscos tecnológicos II

Veja agora como o avanço tecnológico contribui para o desenvolvimento de produtos e serviços cada vez mais complexos.



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.

Atual situação da engenharia de sistemas



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

O avanço tecnológico



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Verificando o aprendizado

Questão 1

Qual é a alternativa correta em relação à origem e à evolução da engenharia de sistemas?

A

Destinado ao desenvolvimento de mísseis balísticos intercontinentais, o Programa Atlas utilizou uma abordagem de projeto do tipo *bottom-up*, na qual primeiramente se vê o sistema como um todo e, em seguida, detalha-se o projeto de seus componentes.

B

Atualmente, existe uma estagnação na engenharia de sistemas devido ao esgotamento das ferramentas de tecnologia da informação e de comunicações.

C

O conceito de gestão do ciclo de vida de sistemas tem sido adotado pela engenharia de sistemas desde as suas origens.

D

Nos últimos anos, a utilização de modelos computacionais e de simulação para o suporte da análise de requisitos e de outras atividades na gestão do ciclo de vida de sistemas tem impulsionado o desenvolvimento da engenharia de sistemas.

E

A engenharia de sistemas é uma disciplina essencialmente burocrática, com pouco dinamismo e inovação.



A alternativa D está correta.

A utilização de modelos computacionais e de simulação tem sido um fator relevante para o avanço da engenharia de sistemas. Por exemplo, desde 2007, o *International Council of Systems Engineering* (Incose)

tem promovido a adoção da metodologia **MBSE**, que utiliza modelos computacionais para apoiar a elaboração de requisitos, bem como a análise, o design, a verificação e a validação de sistemas.

Questão 2

Pode-se dizer que não há inovação sem invenção nem técnicas sem tecnologia. Qual das afirmativas a seguir está correta em relação aos avanços tecnológicos?

A

Desde a década de 1950, discute-se se a incorporação de avanços tecnológicos em produtos e sistemas decorre do avanço da ciência e da tecnologia ou se é o efeito das demandas próprias do mercado.

B

As abordagens do *technology push* e do *demand pull* são incontestáveis nas suas explicações sobre os avanços tecnológicos.

C

As mudanças incrementais ocorrem toda vez que a indústria incorpora tecnologias disruptivas.

D

Mudanças radicais são comuns na indústria, ocorrendo independentemente de pesquisa e desenvolvimento.

E

Saltos de produtividade e novas rotas tecnológicas são comuns nas mudanças incrementais.



A alternativa A está correta.

As abordagens *technology push* e *demand pull*, que surgiram a partir dos anos 1950, discutem o modo como os avanços tecnológicos se incorporam em produtos e sistemas.

A mudança dos perfis profissionais e dos cenários para o futuro

A Indústria 4.0 - O futuro cada vez mais próximo

Ao longo da última década, as indústrias em economias mais avançadas têm experimentado mudanças significativas em suas práticas de engenharia com a inclusão de tecnologias, como os sistemas ciberfísicos e a internet das coisas nos processos produtivos. Isso possibilitou aumento da autonomia na tomada de decisão e mais transparência nas relações entre humanos e máquinas (PEREIRA; SIMONETTO, 2018).



Comentário

O fenômeno conhecido como Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, apresenta desafios e oportunidades para a engenharia de sistemas.

A partir dos anos 1990, a engenharia de sistemas vem desenvolvendo diversos modelos, métodos e processos para construir sistemas que atendam principalmente às necessidades dos usuários. O aumento exponencial no número de dados da Quarta Revolução Industrial (ou Indústria 4.0) alterou esse quadro.

Para Hermann, Pentek e Otto (2016), a Indústria 4.0 é composta por quatro componentes:

Sistemas ciberfísicos

Os sistemas ciberfísicos (**CPS**) são os componentes que integram o mundo físico ao virtual, ou seja, equipamentos que armazenam dados sobre o seu estado e realizam as operações. Os CPS podem ser definidos como a integração da computação com os processos físicos.

Incorporados, computadores e redes monitoram e controlam, geralmente com ciclos de feedback, os processos físicos. Ou seja, esses processos afetam os cálculos – e vice-versa.

Internet das coisas

A conectividade da Indústria 4.0 é obtida por meio da internet das coisas (IoT), que, ao integrar os mais diferentes objetos de nosso cotidiano, constrói uma rede de comunicação entre as pessoas e os dispositivos (PEREIRA; SIMONETTO, 2018).

A IoT permite que “coisas”, como sensores, atuadores e telefones celulares, interajam entre si e cooperem com seus componentes “inteligentes” vizinhos para alcançar objetivos comuns (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016). Exemplo: Fábricas, casas e redes inteligentes.

Internet de serviços

A internet de serviços (**IoS**) permite que fornecedores de serviços ofereçam seus serviços pela internet. A IoS depende da existência de uma infraestrutura de serviços e de modelos de negócios que permitam que os serviços sejam oferecidos, comunicados a usuários e consumidores e acessados por eles por meio de vários canais.

Fábricas inteligentes

As fábricas inteligentes constituem uma característica fundamental da Indústria 4.0, podendo ser definidas como fábricas nas quais os CPS se comunicam pela IoT e auxiliam pessoas e máquinas na execução de suas tarefas.

Dessa forma, a estrutura da Indústria 4.0 pode ser vista como um conjunto de sistemas ciberfísicos, de pessoas e de fábricas inteligentes interagindo entre si e utilizando recursos da internet tanto dos serviços quanto das coisas. A predição de falhas, a autoconfiguração e a adaptação a mudanças são características da Indústria 4.0 que serão obtidas a partir da conexão entre sensores, ambientes de trabalho, máquinas e sistemas de TI mediante a utilização de protocolos da internet, trazendo mais eficiência e redução de custos aos processos.

Pereira e Simonetto (2018) descrevem os nove pilares tecnológicos que sustentam a Indústria 4.0:

Big data e análise de dados

Grandes quantidades de dados sobre a manufatura podem ser obtidas de diversas fontes, como equipamentos de produção, sistemas de gestão de empresas e clientes, analisadas e, assim, utilizadas para a tomada de decisão em tempo real.

Robôs autônomos

Robôs já são utilizados na indústria, porém eles tendem a ser mais autônomos, podendo trabalhar ao lado dos humanos de forma segura, custando menos e tendo mais capacidades.

Simulação

A tomada de decisão poderá ser auxiliada pelas simulações, que utilizarão informações obtidas em tempo real. A otimização de parâmetros poderá ser feita a partir de testes de otimização feitos com modelos virtuais.

Integração de sistemas horizontal e verticalmente

Sistemas estarão mais integrados até mesmo em redes intercompanhias, o que possibilitará mais automação.

A internet das coisas industrial

A interação entre os mais diversos equipamentos será obtida pela internet das coisas industrial, conectando equipamentos com processamento embarcado e auxiliando a obtenção de respostas em tempo real.

Segurança cibernética

A maior conectividade demandará mais proteções contra ataques cibernéticos, impulsionando, desse modo, a construção de novas tecnologias para esse fim.

Nuvem

A computação em nuvem, que já vem sendo utilizada em aplicações empresariais e análise de dados, será ainda mais empregada com a Indústria 4.0, contribuindo no ganho em performance das tecnologias envolvidas e auxiliando em questões entre companhias.

Manufatura aditiva

A Indústria 4.0 possibilitará a construção de produtos customizados de forma descentralizada, reduzindo despesas com estoque a partir do uso de tecnologias, como as impressoras 3D.

Realidade aumentada

A tomada de decisão e o desenvolvimento de procedimentos serão auxiliados pela realidade aumentada, que suporta uma grande variedade de sistemas.

Esses nove pilares tecnológicos fornecem os recursos computacionais (computação de alto desempenho, serviços em nuvem e computação distribuída e paralela) necessários para processar uma grande quantidade de dados, a fim de, em seguida, transformá-los em informações úteis e oportunas.

Mudança nos perfis profissionais dos engenheiros de sistemas e os futuros cenários

Uma característica do engenheiro de sistemas é que ele foca o sistema como um todo, monitorando a sua operação e verificando as suas interações, seja com outros sistemas, seja com o ambiente operacional. Ele preocupa-se, assim, em:

- Atender às necessidades do cliente.
- Garantir que o sistema seja sustentável em termos logísticos.
- Asseverar que haja pessoal capacitado para operá-lo e mantê-lo.
- Observar as condições para o desfazimento dele ao final de sua vida útil.



Comentário

A principal tarefa do engenheiro de sistemas é a de orientar a execução de todas as etapas do ciclo de vida de um sistema. Ele também precisa concentrar sua perspectiva na totalidade do sistema, tomando decisões com base nos impactos e nas capacidades do sistema como um todo.

Para desempenhar suas funções, ele necessariamente se conectará a profissionais das outras especialidades da engenharia, assim como a especialistas de diversas áreas do conhecimento. Os cursos de graduação de Engenharia, porém, tendem a concentrar-se em disciplinas especializadas. Com isso, a maioria de seus alunos se forma com conhecimentos gerais limitados.

Além disso, durante suas carreiras, os profissionais costumam concentrar-se em suas especialidades na busca pelo reconhecimento em suas respectivas áreas. Por conta disso, a maioria dos técnicos resiste a se tornar generalista por medo de perder ou deixar de alcançar posições de liderança profissional, assim como o reconhecimento que as acompanha. Essa característica inibe a comunicação entre engenheiros de diferentes especialidades.



Comentário

Na engenharia tradicional, os empregadores, já na década de 1980, expressavam sua insatisfação com os engenheiros recém-formados. Mesmo que fossem tecnicamente muito bem preparados, eles não tinham as habilidades para um mercado cada vez mais globalizado.

Esse problema perdura até hoje. Veja o que alguns autores apontam sobre a formação do engenheiro de sistemas.

1

Streiner e demais autores (2014)

Estes autores enfatizam a necessidade de os alunos possuírem um nível educacional que permita a eles compreender os impactos de sua atividade em um contexto global, econômico, ambiental e social, assim como a disposição para continuar desenvolvendo suas competências ao longo de sua vida produtiva.

Kossiakoff e outros autores (2011)

Já estes autores, por sua vez, apontam que, diferentemente dos engenheiros de outras especialidades, o engenheiro de sistemas geralmente é um indivíduo já estabelecido na sua profissão principal que se interessou e se envolveu na resolução de problemas complexos, aprendendo a trabalhar com especialistas de outros ramos do conhecimento.

Esse perfil posiciona o engenheiro de sistemas como alguém já experiente que, em determinado ponto da vida, alterou o seu rumo profissional. Muitas vezes, essa mudança ocorria por meio da realização de algum curso acadêmico de nível de pós-graduação.

O currículo dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia de Sistemas enfatiza o conhecimento em áreas relacionadas à computação, o que reflete a crescente tendência dos engenheiros de sistemas de atuar com ferramentas computacionais. Além disso, é um indicador de que o perfil profissional deles vem se modificando para enfrentar os desafios da Quarta Revolução Industrial.

As mudanças no perfil profissional apontam para os futuros cenários da engenharia de sistemas que tendem a aprofundar seu inter-relacionamento com outros ramos do conhecimento e, ao mesmo tempo, lidar com o crescimento exponencial nos volumes de dados e nas informações pertinentes a sistemas cada vez mais complexos. Assim, em um futuro cada vez mais próximo, vislumbra-se que ele terá de conjugar sua visão sistêmica e generalista com o emprego de métodos computacionais de modelagem e simulação.

A expectativa é que a análise dos dados incremente o uso de ferramentas baseadas em aprendizagem de máquina e inteligência artificial. Espera-se que a automatização de tarefas rotineiras ofereça espaço para que o engenheiro exerça suas principais funções com muito mais efetividade.

A evolução da engenharia de sistemas e os riscos tecnológicos

Neste bate-papo, você verá como os avanços tecnológicos causam impacto nas atuais profissões.



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.

A indústria 4.0 – o futuro cada vez mais próximo



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Mudança nos perfis profissionais dos engenheiros e os futuros cenários



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Verificando o aprendizado

Questão 1

Aponte a alternativa correta em relação à Quarta Revolução Industrial.

A

O uso de ferramentas, como o MBSE (engenharia de sistemas baseada em modelos), não deverá se intensificar nos próximos anos.

B

Dos pilares tecnológicos que sustentam a Indústria 4.0, cita-se o aumento da produção de chips de computadores.

C

Os sistemas ciberfísicos podem ser definidos como a integração da computação com os processos físicos, constituindo, assim, um processo de controle e de realimentação semelhante ao da homeostasia no corpo humano.

D

Em longo prazo, o esperado incremento exponencial do fluxo de dados e de informações deverá impactar negativamente os custos dos processos de gestão de ciclo de vida.

E

Nas chamadas fábricas inteligentes, os sistemas ciberfísicos (CPS) atuam de maneira totalmente off-line como estratégia para evitar ataques cibernéticos.



A alternativa C está correta.

Os CPS são equipamentos que armazenam dados e realizam operações, geralmente com ciclos de feedback, os processos físicos. Esses processos, assim, afetam os cálculos – e vice-versa.

Questão 2

O engenheiro de sistemas caracteriza-se por focar o sistema como um todo. Marque a alternativa correta em relação às suas atividades e a seu perfil profissional.

A

A tarefa mais importante do engenheiro de sistemas é reduzir os custos e aumentar a eficiência na construção dos sistemas.

B

O engenheiro de sistemas trabalha essencialmente sozinho, resolvendo problemas com o uso de equipamentos de TI.

C

De modo geral, os cursos de graduação em Engenharia não apresentam deficiências quanto à inserção dos recém-formados em um mercado de trabalho cada vez mais globalizado.

D

A grade curricular dos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia de Sistemas tem enfatizado o conhecimento em áreas relacionadas à tecnologia da informação.

E

A crescente automatização dos processos tende a tirar do engenheiro a capacidade de influir no desenvolvimento dos sistemas.



A alternativa D está correta.

A leitura dos currículos dos cursos de Engenharia de Sistemas comprova a crescente relevância do conhecimento sobre bancos de dados e do domínio de linguagens de programação e de outras áreas ligadas à tecnologia da informação.

Estudos de caso em sistemas de infraestrutura e defesa

A ponte de Öresund



A ponte durante sua construção.

A construção da ponte de Öresund foi um grande esforço para os governos da Dinamarca e da Suécia devido à importância econômica e social da região de Öresund para os dois países. Geograficamente, essa região compreende uma superfície de 20.859km² onde vivem **3,5 milhões de habitantes** (um terço do lado sueco e dois terços do dinamarquês).

Em termos geopolíticos, a região de Öresund faz parte da Dinamarca e da Suécia, países nórdicos considerados eficientes, competitivos e altamente transparentes do ponto de vista internacional, além de personificarem a combinação do estado de bem-estar com uma economia eficiente voltada para o mercado.

Delinearemos a seguir as etapas da construção dessa ponte:

1990

Início do projeto

As famílias reais da Suécia e da Dinamarca concordam em dar início a um projeto de ponte conectando os dois países.

1991

Assinam o acordo

Os governos sueco e dinamarquês finalmente aprovam e assinam um acordo para construir uma ponte de uso misto rodoviário e ferroviário.

1992

Atribuição ao consórcio

Consórcio formado pela Suécia e Dinamarca, o Øresundskonsortiet recebe a atribuição de planejar, conceber, financiar, construir e, após a conclusão da ligação rodoviária e ferroviária, operar e manter a ponte.

1993

Contratação da ASO

O ASO Group é contratado pelo consórcio Øresundskonsortiet após um concurso internacional de design, sendo o responsável pelo conceito de ponte e por acompanhar as obras de sua construção.

Durante a fase de conceituação do projeto, houve um esforço de engenharia de sistemas na definição do prazo, do orçamento e das restrições de qualidade da ponte. Reconheceu-se ainda que as preocupações dos grupos ambientais deveriam impactar a abordagem para a construção do empreendimento. O chefe de um grupo ambientalista importante foi convidado para fazer parte do conselho de diretores do projeto.



Comentário

Diferentemente dos contratos tradicionais, o princípio básico do contrato para a construção da ponte de Øresund seguiu o conceito de "design e construção". O consórcio contratante especificou uma série de requisitos que o produto acabado deveria cumprir, enquanto o empreiteiro contratado comprometeu-se a planejar e construir as obras que atendessem àqueles requisitos. Basicamente, o contratante especificou os requisitos que a contratada deveria atender. O contratado, por sua vez, determinou a forma de alcançá-los.

Pela forma de contrato escolhida, o contratado dispôs de considerável liberdade de ação para definir os meios e os métodos para a execução das obras. Por outro lado, o contratante monitorou constantemente a conformidade do trabalho executado com base em seus critérios e requisitos de qualidade, que abrangeram, entre outros quesitos, especificações de desempenho, estética, segurança e proteção ambiental.

Desde o início do estágio de desenvolvimento da ponte, os contratantes definiram requisitos abrangentes e forneceram desenhos de definição como parte dos documentos do contrato para garantir um resultado do projeto que não apenas atendesse aos requisitos de qualidade de materiais e mão de obra, mas também tivesse a aparência desejada.



Comentário

Ressaltamos que a Dinamarca e a Suécia orgulham-se de estar entre os países industriais em que mais se respeita o meio ambiente. Seus cidadãos – e, portanto, os políticos dos dois países – não permitiriam qualquer impacto ambiental causado pela construção ou pela operação da ponte. Isso acarretou uma série de restrições ambientais.

O Estreito de Öresund é um corredor de ligação entre as águas salgadas do Estuário de Kattegat, na Dinamarca, e as mais doces do Mar Báltico. Resultado: qualquer redução nas trocas de água reduziria o teor de sal e, portanto, o de oxigênio naquele mar, prejudicando o seu equilíbrio ecológico. As autoridades dinamarquesas e suecas decidiram que a ponte deveria ser projetada de forma que o fluxo de água, sal e oxigênio para o Báltico não fosse afetado (INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING, 2015).

Também foram considerados os potenciais impactos na flora e na fauna durante a construção da ponte. As autoridades dinamarquesas e suecas impuseram a restrição de que o derramamento de material do fundo do mar nas operações de dragagem não deveria exceder 5% das quantidades dragadas.

Todos os materiais dragados foram reutilizados para a recuperação de uma península e de uma ilha artificiais. Um monitoramento abrangente e intensivo do meio ambiente também foi realizado para garantir e documentar o cumprimento de todos os requisitos ambientais.

Acrescentamos que o projeto também estava sujeito às particularidades das legislações dinamarquesa e sueca. Por exemplo, a legislação ambiental sueca determinava que o Tribunal Sueco da Água, independente do governo do país, é que deveria decidir acerca do efeito sobre o regime de água da construção da ligação como um pré-requisito para dar a permissão de construção da parte sueca da ligação (FALBE-HANSEN; LARSSON, 1999).

Para fins de ilustração, citaremos alguns requisitos daquele projeto:

Cronograma

Vida do projeto de 100 anos (período de construção entre 1996 e 2000).

Ferrovia

Carga ferroviária (velocidade do trem de 200km/h).

Autoestrada

Carga por eixo rodoviário (velocidade dos veículos de 120km/h).

Ambiente

Velocidade do vento de 61m/s; altura das ondas de 2,5m; espessura do gelo de 0,6m.

A ligação ferroviária introduziu mais um desafio.



Tráfego ferroviário.

Na Dinamarca, o tráfego ferroviário é destro, como nas rodovias, enquanto os trens na Suécia passam pelo lado esquerdo. A conexão necessária para garantir uma transição lógica entre os dois sistemas, incluindo aspectos de segurança, precisou pensar em tais tópicos.

O projeto de uma grande ponte estaiada, como a de Öresund, envolve:

Estudos técnicos de disciplinas, como, por exemplo, as engenharias Civil, Geotécnica, Aerodinâmica e de Fundação.

- Testes de túnel de vento.
- Projeto de pilares e pilares.
- Projeto de compósitos vigas.
- Projeto de cabos e ancoragens.
- Projeto de sistema de monitoramento estrutural.
- Análise de impacto de navio.
- Análise de terremoto.
- Análise de retração e fluência do concreto.
- Análise de carga de gelo.
- Análise de fadiga.
- Projeto de pavimento.
- Sistemas mecânicos.
- Sistemas elétricos.
- Análise de conforto para passageiros ferroviários.
- Previsão de tráfego.
- Aspectos de operação e manutenção.
- Análise das etapas de construção.
- Análise de risco para construção e operação.
- Gestão da qualidade e meio ambiente.
- Estudos e monitoramento.



Atenção

Análises de risco abrangentes foram realizadas em conexão com os estudos de planejamento inicial, incluindo a especificação de requisitos para proteger todos os aspectos de segurança.

Apontaremos a seguir alguns exemplos importantes dos resultados desses estudos para a ponte de Öresund:

- O vão de navegação foi aumentado de 330 para 490m.
- O canal de navegação foi realinhado e aprofundado para reduzir os riscos de encalhes de navios.

- Introdução de ilhas de proteção para reduzir os riscos de colisão entre os navios e a ponte.

Três questões principais foram consideradas no contrato de design e de construção:

- Identificação e avaliação geral dos riscos de construção.
- Colisão de navios provocados pelo realinhamento do canal de navegação.
- Riscos associados com a operação de ponte por cinco anos.

Uma avaliação de risco totalmente quantificada da segurança humana e dos riscos de atraso no tráfego foi realizada para uma lista abrangente de perigos. Essa lista, entre outros itens, incluía:

- Incêndio.
- Explosão.
- Colisões e descarrilamentos de trens.
- Acidentes rodoviários.
- Colisões de navios e encalhes.
- Colisões de aeronaves.
- Cargas ambientais além da base do projeto.
- Derramamentos tóxicos.



Comentário

Um exemplo de uma consequência dessa análise foi a provisão de proteção passiva contra o caso de fogo nas paredes e no teto do túnel. O projeto, ao longo de mais de sete anos, evoluiu desde o início até a entrega da documentação final e dos manuais de manutenção. As obras tiveram início em agosto de 1995, mas a ponte só foi oficialmente inaugurada em julho de 2020.

O trajeto usando a ponte Öressund parte da cidade de Malmö, na Suécia, para Copenhague, a capital dinamarquesa, contém três trechos bem definidos. Veja:

- Uma ponte estaiada sobre o mar com 7,84km.
- Uma ilha artificial com cerca de 4km de pista formada por rochas, areia e entulhos da construção.
- A estrada mergulha no mar através de um túnel de quase 4km.

O motivo da existência do túnel sob o mar reside no fato de que o Estreito de Öresund é um lugar de passagem de grandes navios. Caso ele não existisse, a ponte teria de possuir pelo menos um vão muito largo e pilares muito elevados.

Mesmo sendo tecnicamente possível, isso acarretaria um problema adicional: o aeroporto internacional de Copenhague fica em uma das extremidades da ponte, e a elevação da estrutura promoveria riscos aos aviões. Daí a necessidade de parte da ponte ser submersa, mergulhando no mar na forma de túnel (VENTURI, 2017).



A ponte de Öresund em setembro de 2015.

A ponte de Öresund é um exemplo do sucesso da aplicação da engenharia de sistemas. Trata-se de uma obra muito bem concebida e planejada, tendo abordado detalhadamente as necessidades, os riscos e as restrições associadas ao projeto e envolvido a participação de profissionais de dezenas de especialidades diferentes.



Comentário

O testemunho de Falbe-Hansen e Larsson (1999), que participaram das obras, resume os benefícios alcançados pela aplicação da engenharia de sistemas. Um ano antes da conclusão do projeto, eles relataram que, até aquele momento, não havia nenhuma disputa judicial sobre a ponte, bem como não se esperava nenhuma reclamação significativa contra o Øresundskonsortiet. Isso não é comum para empreendimentos de tamanha envergadura e complexidade, o que, em grande parte, poderia ser atribuído ao espírito de parceria entre todas as partes envolvidas.

A mudança do tipo de esteiras do carro de combate CV90



O IFV CV90.

O **Combat Vehicle 90** (CV90) representa uma família de veículos de combate blindados desenvolvida pelas empresas suecas BAE Systems Land Systems Hägglunds e Saab Bofors Dynamics de Karlskoga. Atualmente, a linha de carros CV90 é totalmente fabricada pela BAE Systems Hägglunds.

O desenvolvimento do CV90 começou em 1984 como resposta aos requisitos delineados pelo exército sueco para uma família de veículos blindados de combate com:

- Alta mobilidade tática e estratégica.
- Defesa aérea e capacidade antitanque.
- Alta capacidade de sobrevivência e proteção.

Sua produção teve início nove anos depois. Em janeiro de 2021, mais de 1.300 veículos foram entregues em múltiplas variantes. Atualmente, o CV90 está em operação nos exércitos dos seguintes países:

- Suécia
- Noruega
- Suíça
- Finlândia
- Holanda
- Estônia
- Dinamarca

A família CV90 possui duas versões principais de veículos de combate de infantaria (**IFV**):

IFV

Infantry Fighting Vehicle.

- CV9030 armado com um canhão de 30mm.
- CV9040 armado com um canhão de 40mm.

Veja mais algumas características desses veículos de combate:

1

Blindagem

A blindagem deles os protege totalmente do impacto de projéteis perforantes de 14,5mm. Também existe a opção de blindagens adicionais contra dispositivos explosivos improvisados.

2

Tripulação

A tripulação é composta por um motorista, um atirador e o comandante do veículo. Além deles, o CV9040 pode transportar até oito soldados de infantaria, que entram e saem do veículo por uma grande porta na parte traseira.

3

Dimensões

O CV9040 é um veículo sobre lagartas com 22,8 toneladas de peso. Suas dimensões são de 6,47 metros de comprimento, 3,19 metros de largura e 2,5 metros de altura. Ele é dotado de um motor a diesel de 550HP que pode impulsioná-lo a uma velocidade máxima de 70km em estrada, tendo um alcance máximo de 320km.

4Outros ajustes

A suspensão é do tipo barra de torção. Também há um sistema de ajuste de tensão da esteira que permite ao motorista ajustar as duas lagartas ao mesmo tempo sem sair de seu assento. Ainda existem vários equipamentos eletrônicos embarcados, como rádios de comunicação, telêmetros a laser, computadores de controle de tiro, intensificadores de imagens e câmaras de visão infravermelha.

Os veículos CV90 usados pelo exército norueguês foram empregados em combate no Afeganistão a partir de novembro de 2007. Dois anos depois, vários veículos do exército da Suécia também foram enviados para operações naquele país.



Comentário

Do mesmo modo que os carros de combate sobre lagartas na atualidade, o projeto original do CV90 empregava esteiras de aço com almofadas de borracha. Essas esteiras proporcionam uma pressão específica sobre o solo relativamente baixa e uma capacidade substancial de superar obstáculos, como, por exemplo, valas e degraus.

As esteiras de aço dos carros de combate sobre lagartas são relativamente caras e de difícil manutenção durante a fase de sua utilização pelas forças blindadas. Embora confirmem grande mobilidade em campo, elas não são adequadas para trafegar em estradas pavimentadas e, pior que tudo, causam grandes vibrações no interior dos veículos.

A vibração do veículo refere-se às oscilações mecânicas em sua carroceria e em outros subsistemas, como ocorre com o motor e os sistemas de trens de rodagem e de transmissão. Vibrações excessivas em um veículo são indesejáveis, pois elas se propagam através dos chassis até o assoalho e os assentos da tripulação, causando desconforto e ruídos indesejados.

Hung, Chuan e Ann (2015) investigaram os efeitos da vibração de carros de combate em pessoas e equipamentos. Normalmente, os carros de combate sobre lagartas trepidam muito mais que os veículos de combate sobre rodas.

Os efeitos da vibração em humanos são subjetivos.



Comentário

Um nível de vibração aceitável para um pode ser intolerável para outro; por conta disso, uma avaliação confiável sobre a ocorrência em um veículo deve estar baseada em padrões e diretrizes amplamente reconhecidos.

Hung, Chuan e Ann (2015) citam dois tipos de vibração que afetam a saúde humana:

Vibração mão-braço

Refere-se a vibrações transmitidas de dispositivos portáteis para as mãos e os braços, o que pode levar a danos mais localizados no corpo humano. Esse tipo de risco é mais comumente encontrado em trabalhadores que usam ferramentas manuais motorizadas por períodos prolongados.

Vibração de corpo inteiro

Diz respeito a vibrações transmitidas pela superfície de suporte do corpo, como as pernas quando em pé e as costas quando sentado. Esse tipo de vibração pode causar desconforto no peito, náuseas, dores de cabeça e fadiga, enquanto a exposição em longo prazo pode levar a sérios problemas de saúde que afetam principalmente a coluna lombar.

Outro efeito da vibração é o ruído excessivo, que pode ferir os tímpanos e agravar o desconforto da tripulação. Em geral, os níveis de vibração mais elevados levam a um maior ruído.

Os níveis de ruído em um veículo também atingem o pico em certas velocidades de viagem devido à ressonância do ar. Em uma cabine fechada, como o compartimento da tripulação de um veículo blindado, as vibrações do sistema de engrenagem de rolamento ou a resposta às condições do terreno ou da estrada (por exemplo, declives e rochas) podem excitar o ar no nível de ressonância.

O ruído interno muito elevado em um veículo de combate ainda pode atrapalhar a comunicação entre os membros da tripulação e a do carro com os escalões superiores. A vibração também encurta a vida útil de componentes eletrônicos, como placas de circuitos, de computadores e rádios, além de prejudicar as engrenagens do motor e dos sistemas de transmissão.



Atenção

Quando expostos à vibração excessiva, os componentes do maquinário se desgastam mais rapidamente e podem quebrar. A quebra de componentes interrompe as capacidades do veículo, as quais, aliás, são críticas para o sucesso da missão. Para minimizar esses efeitos prejudiciais, a vibração em veículos blindados, portanto, deve ser controlada.

O avanço tecnológico forneceu soluções inovadoras para reduzir as vibrações neles. Atualmente, vários projetos de plataformas blindadas enfatizam a relevância dos fatores fisiológicos, o que tem se manifestado na descrição dos sistemas considerando seus aspectos ergonômicos, de saúde e conforto.

Como é de se esperar, o desempenho na operação de uma viatura blindada depende diretamente das condições nas quais sua tripulação realiza as tarefas. No caso do CV90, o veículo havia sido originalmente projetado, no final dos anos 1980, para ser empregado em operações no norte da Suécia.

Grande parte do terreno no norte desse país é úmido e pantanoso no verão e coberto por neve profunda no inverno. O CV90 foi projetado especificamente para operar nessas condições; assim, ele possuía um sistema de suspensão otimizado para aquele ambiente operacional (MATUSUMURA *et al.*, 2007).

Por causa da blindagem adicional, os veículos noruegueses enviados para o Afeganistão tinham cerca de 33 toneladas, sendo bem mais pesados que as 23 toneladas das versões originais do CV90. Mesmo com o peso acima daquele para o qual foram projetados, os CV90 mantiveram sua excelente mobilidade e forneceram um alto nível de proteção contra dispositivos explosivos improvisados.



Vista da cidade de Kabul, no Afeganistão.

O terreno no Afeganistão apresentava características bem diferentes das previstas no projeto original do CV90. O país é montanhoso; além disso, boa parte de seu território é formado por regiões desérticas ou semidesérticas, sendo um terreno árido e acidentado.

Essas condições agravam o risco de que os carros de combate apresentem vibrações acima do tolerável. Era preciso, desse modo, encontrar formas de reduzir o nível de vibração dos carros de combate CV90 a serem enviados ao Afeganistão.

Entre as possíveis abordagens para solucionar o problema, a mais promissora era o uso de esteiras de borracha. A dificuldade é que esse tipo de esteira é mais adequada para veículos leves, como aqueles que trafegam sobre a neve.

Uma empresa que já atuava em esteiras de borracha para motos de neve na década de 1960 conseguiu, nos anos 1980, por meio de contratos com o departamento de defesa, projetar e fabricar esteiras de carros de combate.



Exemplo

BvS 10 Viking (11 a 16 toneladas de peso), STK Bronco (18 toneladas) e Warthog (24 toneladas).

No início dos anos 2000, as esteiras de borracha foram experimentadas nos veículos blindados de transporte de pessoal (VBTP) M113, os quais, dependendo da sua configuração, podem ter um peso que varia de 12 a 24 toneladas.

Mais de 1.500 unidades do VBTP M113 foram convertidas para esteiras de borracha Soucy. O emprego desse veículo no Iraque e no Afeganistão comprovou sua confiabilidade excepcional.

Em 2011, alguns veículos CV90 do exército norueguês trocaram suas esteiras de aço por outras de borracha, sendo depois enviados para operações de combate no Afeganistão.

A prontidão tecnológica das esteiras de borracha alcança o nível TRL7. O nível alcançado pelas esteiras de borracha pode ser considerado elevado, embora essa tecnologia ainda não esteja amplamente difundida (MARCOTTE, 2018).

As esteiras de borracha possuem cerca da metade do peso das esteiras de aço. Elas também conferem muito mais fluidez ao veículo na transposição de cursos d'água.

De acordo com Marcotte (2018), testes apontaram uma significativa redução de consumo de combustível:

- 16% em estradas pavimentadas.
- 24% em percursos em terreno acidentado.

Sob o aspecto logístico, a manutenção das esteiras de borracha não apresenta maiores dificuldades.



Comentário

Verificou-se que uma equipe de seis homens levou cerca de duas horas e vinte minutos para remover e substituir uma esteira de borracha em um carro de combate sobre lagartas.

Testes com o veículo blindado **Warrior**, um tipo de IFV desenvolvido pela empresa multinacional BAE Systems, apontaram uma redução média de 42% da vibração dos carros com esteira de borracha em relação aos de esteira de aço. Ainda segundo Marcotte (2018), essa redução foi medida para cada um dos elementos da tripulação:

- **45%** para o comandante do carro.
- **28%** para o motorista.
- **39%** para o atirador.

O problema da redução da vibração excessiva em carros de combate sobre lagartas, em suma, foi tratado conforme a metodologia da engenharia de sistemas. Isso envolveu diversos estudos em diferentes campos, como os da química, da mecânica e da fisiologia humana. No caso dos carros CV90 do exército norueguês, a substituição das esteiras de aço levou em consideração estes quesitos:

- Maturidade tecnológica das esteiras de borracha.
- Aspectos geográficos do Afeganistão.
- Local onde os veículos seriam empregados operacionalmente.

A evolução da Engenharia de Sistemas e os riscos tecnológicos III

Agora, apresentaremos os estudos de caso em sistemas de infraestrutura e defesa.



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.

A ponte de Öresund



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

A mudança do tipo de esteira do carro de combate CV90



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para assistir ao vídeo.

Verificando o aprendizado

Questão 1

Marque a alternativa correta em relação ao estudo de caso da ponte de Öresund.

A

A modalidade de contrato adotada para a construção da ponte contribuiu para o sucesso do empreendimento, pois o contratante pôde direcionar o trabalho dos empreiteiros, determinando todos os detalhes da construção.

B

O contrato para a construção da ponte exigiu do contratante um esforço maior para a elaboração dos requisitos do sistema.

C

A construção da ponte provocou danos ambientais irreparáveis na região do Estreito de Öresund.

D

A construção do túnel sob o mar atendeu tão somente às exigências do fluxo de navios no Estreito de Öresund.

E

A decisão de colocar proteção passiva contra o fogo nas paredes e no teto do túnel decorreu de uma abrangente análise de impactos ambientais.



A alternativa B está correta.

A modalidade do contrato para a construção da ponte deu liberdade de ação aos executores da obra para que eles pudessem alcançar os requisitos especificados pelo consórcio contratante, exigindo um maior esforço na sua elaboração.

Questão 2

Assinale a opção correta quanto ao estudo de caso da substituição das lagartas do carro de combate CV90.

A

Via de regra, as esteiras de borracha não causam trepidação.

B

As considerações de conforto da tripulação são secundárias diante do fato de que o CV90 é um carro de combate.

C

A solução técnica alcançada para reduzir a vibração do carro considerou o nível de maturidade tecnológica das esteiras de borracha.

D

A aplicação da engenharia de sistemas, nesse caso, limitou-se à análise de riscos associados à substituição das esteiras.

E

Os estudos em química, mecânica e fisiologia humana foram suficientes para determinar a troca das esteiras.



A alternativa C está correta.

O nível de maturidade tecnológica das esteiras de borracha, com vários casos anteriores de sucesso em viaturas blindadas, conferiu segurança para a decisão quanto à substituição das esteiras de aço.

Considerações finais

Este conteúdo tratou da sinergia das Ciências Sociais, da Administração e da Engenharia no século XXI, abordando as mudanças causadas pela aplicação da Teoria Geral dos Sistemas na forma de pensar os problemas humanos e a dinâmica das organizações. A aproximação entre disciplinas de diferentes ramos do conhecimento favoreceu a criação de esquemas de trabalho conjunto, como a hélice tríplice da qual derivaram organizações contemporâneas de forte conteúdo tecnológico, como as incubadoras e as *startups*.

Apontamos ainda que a engenharia de sistemas tem evoluído em um ambiente de rápidos avanços tecnológicos e de transformações comportamentais e organizacionais que embute não apenas riscos, como também oportunidades. Esse ambiente, frisamos, representa sobretudo novos desafios.

Este é o cenário que se descortina: um mundo desafiador que exige profissionais com habilidades específicas e, ao mesmo tempo, dotados de pensamento sistêmico, que sejam capazes de implementar soluções a problemas cada vez mais complexos sem perder de vista o alcance e as implicações de sua atividade para o conjunto da sociedade.

Podcast

Ouçá agora um resumo dos assuntos abordados.



Conteúdo interativo

Acesse a versão digital para ouvir o áudio.

Explore +

Além das obras citadas 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

ATKINSON, R. **Emerging technologies and preparing for the future la-bor market**. Information Technology & Innovation Foundation. 2018.

BENCKE, F. F. *et al.* **A hélice tríplice e a construção de ambientes de inovação: o caso da incubadora tecnológica de Luzerna/SC**. Desenvolvimento em questão. n. 43. 2018.

CAI, Y.; ETZKOWITZ, H. **Theorizing the triple helix model: past, present, and future**. Triple helix journal, 2020.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. **The dynamics of innovation: from national systems and “mode 2” to a triple helix of university–industry–government relations**. Research policy, v. 29, p. 109–123, 2000.

FALBE-HANSEN, K.; LARSOON, Ö. **The Øresund bridge: project development from competition to construction**. Transportation research record journal of the transportation research board. v. 1654, n. 1. 1999. p. 133-140.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for Industrie 4.0 scenarios**. Hawaii International Conference on Systems Science. 2016. p. 3928–3937.

HOSSAIN, N. U. I. *et al.* **A historical perspective on development of systems engineering discipline**: a review and analysis. Journal of systems science and systems engineering. v. 29. n. 11. Publicado em: dez. 2019.

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING (INCOSE). Além das obras citadas 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. 4. ed. John Wiley & Sons, 2015.

KOSSIAKOFF, A.; SWEET, W. N.; SEYMOUR, S. J.; BIEMER, S. M. **Systems engineering**: principles and practice. 2. ed. John Wiley & Sons, 2011.

MARCOTTE, T. **Composite rubber track trial results for warrior IFV**. 2018 NDIA Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium. Power & mobility (P&M) technical session. ago. 2018.

MATUSUMURA, J. *et al.* **Assessing tracked and wheeled vehicles for australian mounted close combat operations**. RAND Corporation, 2007.

NEMET, G. **Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change**. Research policy. n. 38. 2009. p. 700–709.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Öresund, Denmark/Sweden**. OECD territorial reviews. 2013.

PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. de O. **Indústria 4.0**: conceitos e perspectivas para o Brasil. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 16, n. 1, 2018.

RANGA, M.; ETZKOWITZ, H. **Triple helix systems**: an analytical framework for innovation policy and practice in the knowledge society. Industry & higher education. v. 27, n. 3, ago. 2013. p. 237–262.

STREINER, S. C. *et al.* **Exploring engineering education in broader context: a framework of engineering global preparedness**. 121st ASEE Annual Conference & Exposition. Publicado em: jan. 2014.

TIGRE, P. B. **Gestão da inovação**: a economia da tecnologia do Brasil. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2006.

VENTURI, J. Edifício Turning Torso e Ponte Öresund. **Geometria analítica**. Publicado em: 19 jul. 2017. Consultado na internet em: 1 dez. 2021.