



## OS CURSOS DE ENGENHARIA E A FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS PARA INDÚSTRIA 4.0

**José T. Oliveira** – tadeu@pucminas.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - Unidade São Gabriel  
Rua Walter Ianni, 255 - Bairro São Gabriel  
31980-110 – Belo Horizonte – MG

**Resumo:** Engenharia é a arte de aplicar princípios científicos e matemáticos associados com experiência; julgamento e bom senso nos meios de produção. Atualmente, projetos de engenharia e sistemas produção são planejados com a interligação de máquinas em redes corporativas e com interação humana realizada diretamente por meio de sistemas cyber-físicos na denominada Indústria 4.0. Este trabalho aborda questões ligadas às exigências para a formação de profissionais considerados capacitados a ocupar posições no mercado diante das transformações impostas pela produção segundo as técnicas e métodos da Indústria 4.0. São discutidas, também, algumas questões conflitantes com relação ao estudante; ao uso da INTERNET como biblioteca e o desenvolvimento da capacidade para abordagem adequada de problemas para os quais não há exemplos resolvidos. São apresentados alguns métodos em uso para a transição da relação ensino-aprendizagem para a produção de conhecimento com o estudo compartilhado dos conceitos consolidados pela experiência adquirida.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0; PLM, Sistemas ciber-físicos; Sistemas complexos, Ensino de engenharia.

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo BRETTEL (2014), apesar do uso em diferentes contextos, Indústria 4.0 é uma expressão popular para descrever as transformações ocorridas na cadeia de produção industrial pela fusão do mundo digital e é devida pela referência aos diferentes estágios dos processos industriais desde a Revolução Industrial ocorrida com a introdução da máquina a vapor até os dias atuais com a digitalização de grande parte das atividades humanas diárias.

A operação em processos produtivos segundo a Indústria 4.0 apresenta grandes desafios, principalmente para a realidade brasileira. As transformações são enormes e englobam medidas operacionais, comportamentais, recursos humanos, de infraestrutura e culturais que alcançam desde a fase de projeto e desenvolvimento dos produtos até a postura organizacional no mercado. Pelas características próprias, a formação de recursos humanos é o maior de todos eles.

Ao passo que a humanidade passa por crescentes transformações comportamentais em intervalos de tempo decrescentes, os métodos didáticos se arrastam em tentativas desesperadas e, muitas vezes, desordenadas, para a sustentação das relações de domínio ligadas ao ensino e à aprendizagem. Apesar do consenso sobre sua inadequação para as pessoas e costumes atuais, não há proposta que consiga aparar as arestas e tornar as aulas atuais motivadoras ao longo dos semestres e cursos de engenharia.

Organização



Promoção





Transformações educacionais, normalmente lentas, enfrentam diferentes argumentos conflitantes ou mutuamente excludentes, que salientam a luta pela defesa das respectivas zonas de conforto de defensores ou detratores de uma ou outra iniciativa de mudança. Parte considerável dos estudantes enxergam a fase universitária como a fase na qual devem viver o mais intensamente possível, o que é desumano condenar. Cabe aos Professores a árdua tarefa de mostrar os meios de conciliar a vida social do jovem, repleta de festas; de relacionamentos casuais e de curtíssima duração com a frequência às atividades acadêmicas e apresentar rendimento aceitável. Conflito inevitável.

A maior parte dos Professores do Ensino Superior atuais estão na faixa etária que vai dos 35 aos 60 anos e, resguardadas as gritantes diferenças entre os recursos disponíveis e os “costumes da galera” quando eram jovens universitários com os recursos e os “costumes da galera atual” que compõe os Estudantes dos Cursos de Engenharia, provoca a reflexão sobre àquela conclusão musical: “... ainda somos os mesmos e vivemos como nossos pais!” Ainda somos os mesmos e tentamos “ensinar” como os nossos Professores faziam há mais de 30 anos em uma sociedade cujas técnicas e tecnologias de produção sofrem modificações profundas em menos tempo do que o Estudante leva para concluir o Curso de Engenharia.

Apesar do uso de alguns dos recursos tecnológicos disponíveis, o formato do que é chamado Ensino de Engenharia insiste em aplicar o mesmo conceito de transferência de conhecimento com aulas expositivas e alguma prática em laboratório no mesmo modelo que era praticado no início do século passado; mesmo as técnicas aplicadas no Ensino à Distância – EAD convivem com preconceito e modelo híbrido de avaliações presenciais nos quais a simulação em ambientes virtuais é praticamente inexistente.

Em todos as experiências inovadoras na área Educacional, há o consenso sobre a subjetividade dos processos e instrumentos de avaliação e, também, sobre a necessidade de mudanças nos atuais métodos de verificação de conhecimento ou de retenção de informação para modelos que permitam avaliar a capacidade do Estudante em abordar os problemas de forma adequada e equacionar as respectivas soluções.

A simulação em ambientes virtuais amplia, consideravelmente, as possibilidades de estudo, aprendizado e avaliação, porém, retira do Professor o papel de ator principal e, conseqüentemente, pode ferir susceptibilidades de um ou outro menos seguro do seu lugar no processo global de formação de recursos humanos. Módulos com aulas de 100 minutos são impraticáveis atualmente por ser “uma eternidade” para permanecer concentrado na aula, na maior parte das vezes, entediante e, ainda, permanecer desconectado do mundo.

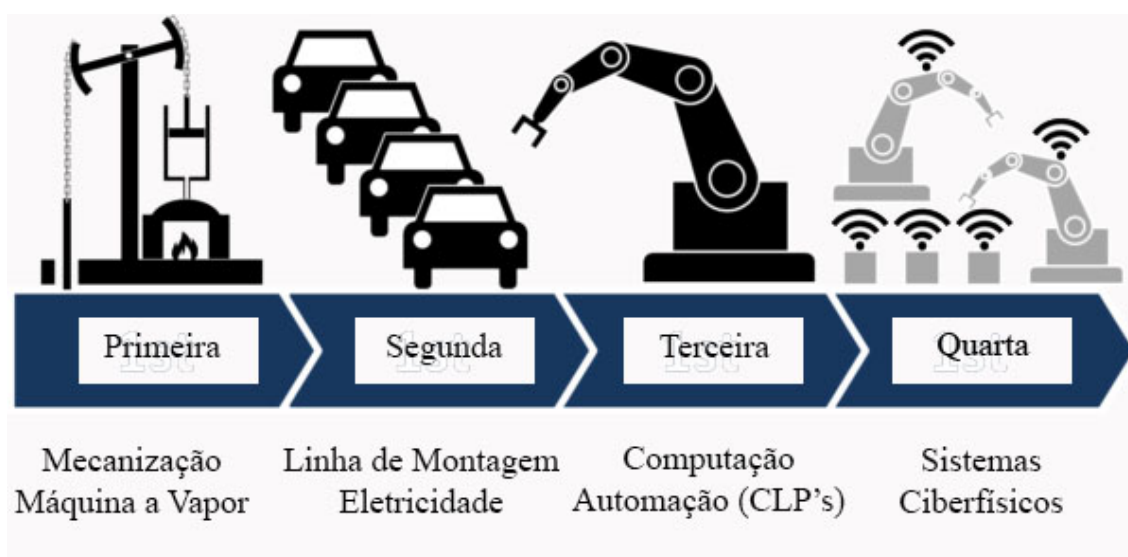
A competição no mercado exige de todos os setores, inclusive educacional, a redução dos custos da produção em todos os níveis, ou seja, desde a Pesquisa & Desenvolvimento até a redução da Margem de Contribuição Unitária ao limite da sobrevivência do produto ou negócio e, ainda, assumir parcerias para chegar ao cliente final e assegurar a demanda para respectiva produção. A redução de custos por aumento da eficiência; automação e otimização de processos; aumento da confiabilidade dos produtos e estabilidade da relação produção versus entrega é, normalmente, vista pelo impacto social ao provocar remanejamento de pessoas ou eliminação de antigos postos de trabalho. A necessidade de mão de obra qualificada e a requalificação de pessoas cujos postos foram extintos não estão na mesma equação, porém, o crescimento da necessidade em produzir mais e, ainda, produtos de melhor qualidade pressiona para o modelo produtivo com foco na produção em escala, célere e de baixos custos.



## 2. A 4ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E A INDÚSTRIA 4.0

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2016), o conceito de Indústria 4.0 está fundamentado na incorporação dos sistemas digitais nas atividades industriais. Chamada de 4ª Revolução Industrial, como pode ser visto nas referências mostradas na Figura 1, é caracterizada pela integração e controle da produção a partir de sensores, controladores e equipamentos conectados em redes com protocolos específicos para comunicação e transmissão de dados. Além disso, disponibiliza modelos e processos que utilizam da fusão do mundo real com ambientes virtuais com diferentes formas de interações, inclusive interação humana com hologramas. Esses Sistemas, chamados Ciber-físicos, ou seja, composto por elementos computacionais para controlar entidades físicas, somente são viabilizados com emprego de métodos baseados em Inteligência Artificial.

Figura 1. Classificação das revoluções industriais.



Fonte: Adaptado de Wójcicki, 2017.

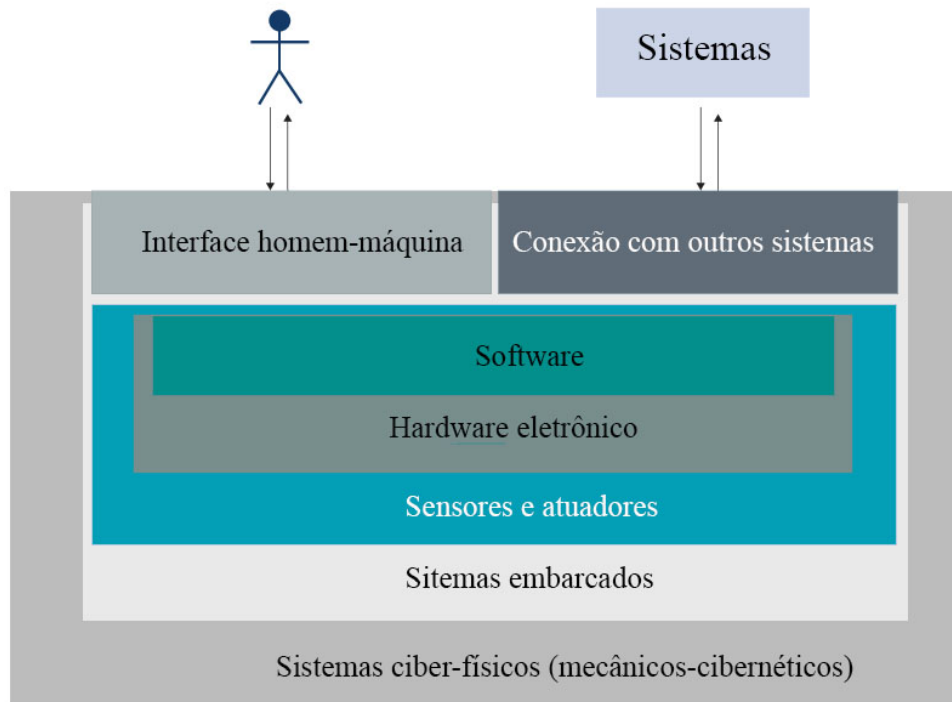
As principais tecnologias que suportam a 4ª Revolução Industrial incluem os Sistemas e Tecnologias de Informação, Comunicação, INTERNET das Coisas (IoT), o “Big data<sup>1</sup>”, a computação em nuvem, a robótica avançada, a inteligência artificial, novos materiais e as novas tecnologias de fabricação aditiva<sup>2</sup> e fabricação híbrida<sup>3</sup>.

Notas:

1. Grande conjunto de dados e informações que compõem os bancos de dados referentes às aplicações e aos processos da organização;
2. Impressão 3D e
3. Funções aditivas e de usinagem em uma mesma máquina.



Figura 2. Esquema da interação homem-máquinas via sistema ciber-físico.



Fonte: Adaptado de BRETTEL et al., 2014.

### 3. PESQUISA & DESENVOLVIMENTO & PRODUÇÃO & PLM

A Pesquisa deixou de ser exclusiva das Universidades e Centros de Excelência e as atividades produtivas atuais exigem a formação de parcerias para as diferentes fases de P & D de novos produtos entre organizações de diferentes finalidades, portes e naturezas operacionais.

A descentralização das atividades; a integração vertical dos sistemas de produção inteligentes e a integração horizontal na cadeia de agregação de valor resultaram na evolução da Gestão de Dados do Produto – PDM para a Gestão do Ciclo de Vida do Produto, normalmente referido como PLM ou “Product Lifecycle Management”.

A integração de toda a cadeia de valor, a partir da fase de concepção do produto até a chegada ao consumo envolve Engenharia e de várias modalidades. A operação multi e interdisciplinar exige profissionais formadas segundo métodos de estudos que estão muito além das técnicas de aulas expositivas e práticas em laboratórios didáticos distante da realidade industrial e, assim, reforçam a tese errônea de que a prática profissional independe do conhecimento da teoria.

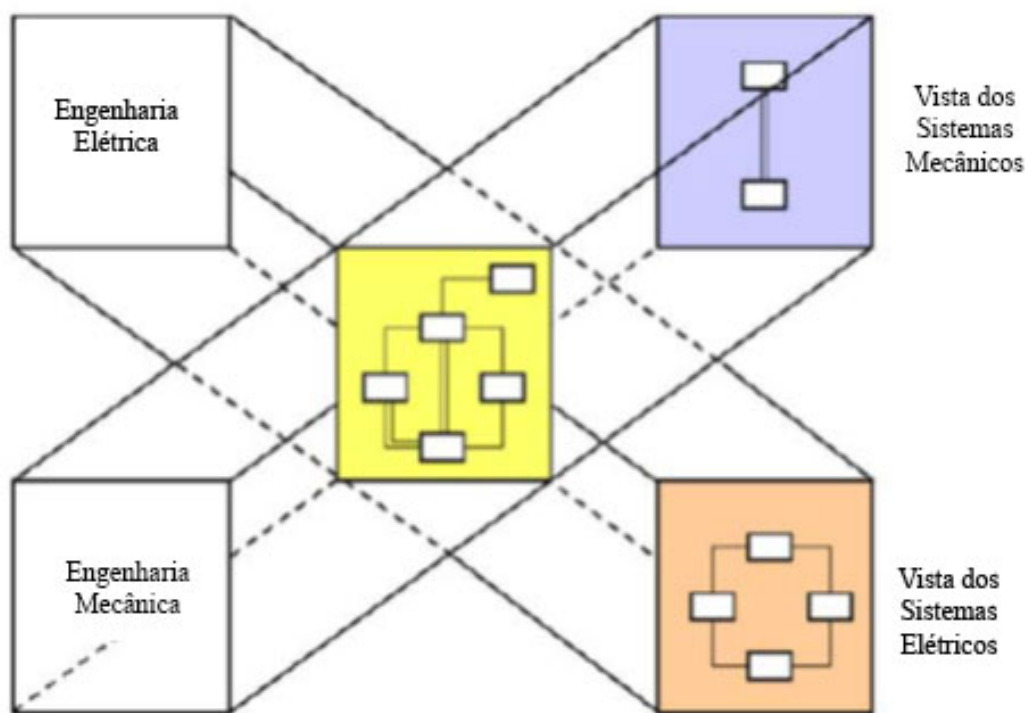
A reestruturação dos métodos de ensino de engenharia há muito é buscada e muitas experiências bem-sucedidas são vistas em diversas escolas pelo país: cursos baseados em desenvolvimento de projetos, solução de problemas desde os períodos iniciais e com o último ano totalmente baseado em disciplinas EAD; o crescente número de instituições que implantam técnicas baseadas em “Fab Labs” e as parcerias entre grandes corporações para a instalação e manutenção de laboratórios de desenvolvimento e inovação no Campus Universitário com realização de eventos, maratonas locais, regionais e mundiais. Os programas de fomento à iniciação científica e aperfeiçoamento de recursos humanos contribui significativamente para a aproximação da comunidade acadêmica da indústria, porém, muitos eventos permanecem com caráter majoritariamente científico ou puramente empresarial.



### 3.1. Sistemas Complexos, Modelos, Simulações e Reusabilidade

De acordo com TSALLIS (?), quando um grande número de módulos ou sistemas são agrupados para formar outro sistema, as propriedades macroscópicas ou coletivas do sistema composto não estão, em geral, relacionadas com as propriedades dos seus constituintes individuais. Neste caso, o sistema composto é um sistema complexo. Segundo DILÃO (1995), um sistema é tão mais complexo quanto maior for a quantidade de informação necessárias para descrevê-lo. Normalmente, os modelos matemáticos dos sistemas complexos levam a equações não lineares de difícil solução, ainda que numérica.

Figura 3. Diferentes pontos de vista sobre artefatos reutilizáveis armazenados no repositório da aplicação de automação industrial com destaque para que o todo é maior do que a soma das partes



Fonte: Adaptado de MAGA and JAZDI, 2009.

A construção de modelos físicos-matemáticos-computacionais para simulações em ambientes virtuais exige a formação de equipes cuja administração somente é possível através do controle eficaz da informação e contextualização das “expertises” individuais em torno do sistema ciber-físico a ser implantado. Em muitas áreas produtivas, como a construção civil, por exemplo, as dificuldades são ainda maiores devido as atividades e a qualificação de parte dos trabalhadores.



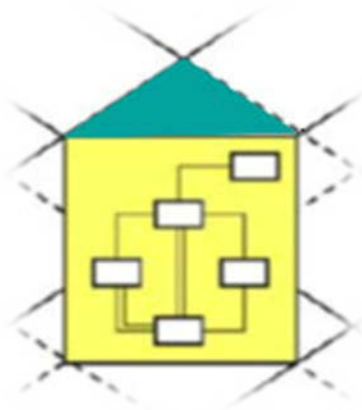
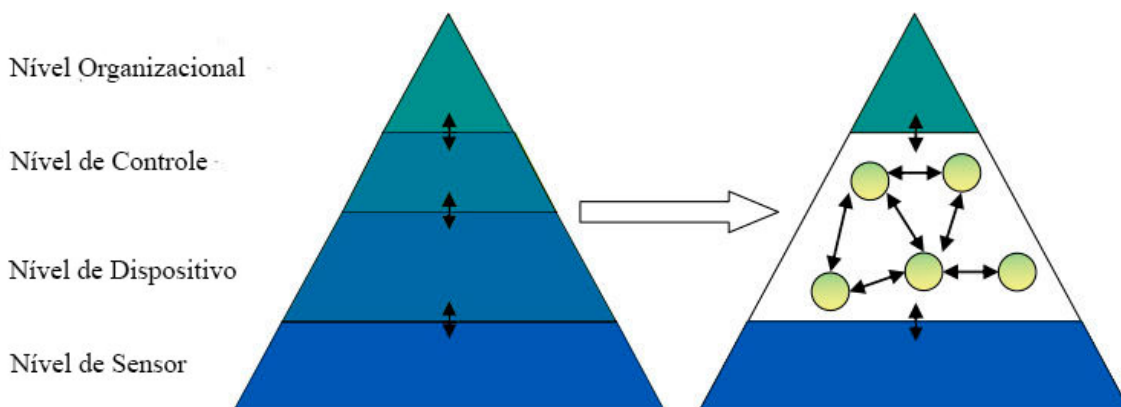


Figura 4. A análise das diferentes interações possíveis dos sistemas elétricos com os sistemas mecânicos e vice-versa, resulta em diferentes instâncias para a estrutura vista na face do prisma e resulta em um sistema com maior grau de complexidade no interior do volume do prisma do que aquele mostrado na face. A simulação é fundamental para viabilizar avaliação das diferentes instâncias.

Fonte: Adaptada de MAGA and JAZDI, 2009.

Figura 5. Comparação entre a Pirâmide da Automação clássica diante da nova situação consequência da comunicação e múltiplas e mútuas interações.



Fonte: Adaptada de BRETTEL et al., 2014.

O desenvolvimento de projetos em sistemas baseados em “Big data” simplifica o compartilhamento de informações, o desenvolvimento descentralizado, a reusabilidade de modelos e módulos previamente desenvolvidos e torna o processo produtivo independente de um ou outro nó da rede.

### 3.2. Formação Profissional em Consonância com as Práticas do Mercado Produtivo

Os cursos de Engenharia atuais possuem programas inter e multidisciplinares independentemente da modalidade ou de onde são ofertados. Infelizmente, os projetos de desenvolvimento tecnológico nas instituições de ensino enfrentam enormes dificuldades decorrentes da cultura burocrática independentemente da natureza da instituição ou da entidade que fez o aporte financeiro ou fomento e, não raro, o prazo de execução do trabalho expira antes da chegada dos equipamentos e os projetos são interrompidos sem nenhuma produção. Além das dificuldades quanto à educação e à instrução dos ingressantes, o modelo proposto para ensino-aprendizagem contribui para o insucesso: o conflito entre admitir um aluno mal preparado; transformá-lo em estudante de engenharia para, então, liberar



profissionais preparados para a sociedade produz grande evasão escolar; muitos postulantes com títulos de engenheiros e, também, alguns profissionais.

#### **4. PROPOSTA DE MODELO PARA REDUÇÃO DO DESCOMPASSO ENTRE O ENSINO DE ENGENHARIA E O “MODUS VIVENDI”**

Houve um momento no qual o módulo de aula expositiva com duração de uma hora-aula tornou-se inviável em função da necessidade em escrever, inclusive com desenhos, tudo o que seria discutido ou explicado na outra parte da aula. A tecnologia disponível atualmente permite muito mais com muito menos tempo, porém, as aulas continuam com 2 horas-aula de duração.

Módulos de 60 minutos distribuídos entre exposição em mídias digitais e discussão de casos ou exemplos eliminarão os problemas devidos à concentração por longo tempo e, também, o “off line” prolongado. Por outro lado, é preciso medidas para a mudança de cultura quanto a tolerância impune aos atrasos para a entrada nas salas de aulas e ausências para atender o telefone, água, banheiro e etc.

A linguagem da engenharia é composta pelos textos dos memoriais descritivos somados aos desenhos e consolidados pelos memoriais de cálculos, porém, a produção pode ser muito mais dinâmica na mesma ferramenta na qual pode ser desenvolvida uma interface homem-máquina para um sistema ciber-físico e também para conexão com a biblioteca que possui uma bibliotecária tão eficiente quanto melhor for a especificação do que se deseja localizar.

Os laboratórios acadêmicos devem ser organizados para cursos semipresenciais, com aulas virtuais e estudos autônomos dos conceitos e práticas de laboratório com atividades presenciais em turnos de 4 horas de duração e com atividades encadeadas para consolidação dos conceitos, do método científico e da postura profissional continuada.

O intercâmbio internacional no último ano do curso é uma boa medida, porém, a experiência do programa Ciência sem Fronteiras deixa claro que normas mais rígidas são necessárias. O pequeno retorno diante do vulto do investimento prova que aqueles valores, se destinados aos mesmos estudantes para dedicação exclusiva à respectiva formação na própria escola, teria produzido profissionais muito melhor preparados do que o período no exterior proporcionou.

As avaliações continuam a constituir o principal dificultador como em qualquer processo que envolva ensino. A maior parte dos instrumentos de avaliação mostram a capacidade do estudante em memorizar ao passo que deveriam mostrar a capacidade em estruturar a busca pelo equacionamento e, conseqüentemente, a solução dos problemas apresentados. Em grande parte das disciplinas ditas profissionalizantes, novos modelos e formatos para instrumentos de avaliação poderiam incluir problemas reais com algum grau de complexidade para solução como as soluções dos problemas atuais. Deve durar um dia, ser individual, com consulta liberada a materiais previamente especificados e entrega na forma de um documento que contenha memorial descritivo; desenhos e memorial de cálculos, quando aplicáveis.

#### **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Profissionais formados adequadamente formados têm sucesso nos processos avaliativos em consequência da boa formação, a qual é decorrente das oportunidades para o aprendizado. A estrutura acadêmica deve estar preparada para flexibilizar o acesso às instalações e a Docentes em tempo de dedicação para atender estudantes em turnos alternativos aos das aulas, principalmente, quando tratar-se do público dos cursos noturnos. O estudante de



engenharia precisa dedicar períodos além do tempo de sala de aulas e finais de semana para tornar-se o profissional bem formado e informado que o país precisa.

Quando avaliadas as relações de produto e de cliente das Escolas de Engenharia, chega-se, invariavelmente, à sociedade, logo, difícil haver modelo capaz de aplicação em Instituições Públicas e Privadas para satisfazer as relações de formação, capacitação e inserção dos Egressos mediante às diferenças para obtenção dos recursos financeiros envolvidos nos processos. O aporte financeiro por meio de doações, comuns nos países cuja formação profissional é mais desenvolvida do que a brasileira, pode viabilizar melhoras consideráveis na formação e aperfeiçoamento de Docentes, das instalações acadêmicas, reduzir os valores das mensalidades e, ainda, aumentar a quantidade de bolsistas e programas de fomento institucionais para pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. Parece simples. Não é pelo histórico de escândalos administrativos em todos os nichos de mercado e níveis de poder conhecidos capaz de suscitar desconfiança sobre os destinos das doações. Essa é a visão de muitos segmentos que adquirem tecnologias que poderiam ser desenvolvidas em diversos centros brasileiros.

Atualmente, as tecnologias disponíveis para emprego no conceito de Indústria 4.0 obriga aplicações e não há aspecto social, produtivo, financeiro ou econômico particular que impeça sua instalação. O impacto no modelo de formação dos Cursos de Engenharia começou a ser abordado há menos de dois anos e é possível inferir que os Egressos dos próximos anos vão atuar com tecnologias e técnicas para as quais não encontram nas Escolas e a interação com o mercado é pouco relevante. Nenhuma instituição de ensino consegue acompanhar o uso tecnológico empresarial ou do Mercado Globalizado, no entanto, é imperativo que os conceitos, independentemente da área do conhecimento, sejam estudados na Escola em consonância com as atividades empresariais de ponta. As parcerias entre Instituições de Ensino e Empresas pode reduzir a defasagem e os meios possíveis vão desde Visitas Técnicas a demonstrações na planta com aulas e simulações nas instalações produtivas. O modelo de Estágio Técnico deve mudar e deixar de ser meio de contratar mão de obra barata para tornar-se majoritariamente meio de interação com as técnicas e tecnologias empregadas na produção e, principalmente, novas tendências.

A filosofia de alguns Sistemas de Gestão ou Desenvolvimento de Produto que buscavam enquadrar os processos aos modelos previamente determinados deu lugar às plataformas customizáveis por processo ou produto as quais, atualmente, operam com o compartilhamento permanente de informações e módulos integradores em bases localizadas ou distribuídas para possibilitar o desenvolvimento de sistemas complexos ou por grandes equipes, localizadas em um ou diversos centros, corporações ou localização, se necessário ou aplicável. A segurança e confidencialidade dos projetos são questões de engenharia, logo, a relação custo versus benefício desejado podem determinar sua eficácia. As tecnologias disponíveis para a Automação Industrial e para os Sistemas de Informação, Conectividade e Processamento Computacional permitem aplicações que levam a cenários considerados fictícios até recentemente e novas publicações ou produtos disponibilizados provam que muito mais do que é conhecido pode ser desenvolvido com os mesmos recursos tecnológicos disponíveis atualmente, porém, o mercado produtivo brasileiro apresenta plantas de alta tecnologia e plantas cuja produção não possui qualquer aspecto de automação ou otimização de processos ainda que o modelo de negócio permita. Para essas corporações, nem sempre de pequeno porte, a Engenharia 4.0 é ficção e não cabe na respectiva cultura organizacional.

Não há soluções mágicas na área de capacitação profissional e nossa estrutura educacional com 2 semestres letivos entre fevereiro e novembro, inclusive, torna a internacionalização das nossas IES alvo de casos muito particulares. É raro um ano sem paralisações ou compensações que tornam o descompasso cronológico ainda pior. A

Organização



Promoção







introdução de Cursos de Engenharia com calendários anuais idênticos ao de instituições internacionais de referência possibilitaria o intercâmbio sem as dificuldades impostas pelas férias brasileiras de dezembro ao Carnaval.

A subjetividade dos instrumentos de avaliação é combatida há décadas e apesar da intensa discussão em torno do assunto nos meios acadêmicos, a revisão de correções de exames causa transtornos por interesses escusos de um ou outro. A relação de controle ou poder que sustenta as relações Professores-Estudantes precisa evoluir sem significar para um, a eliminação do posto e para ou outro, submissão cega, surda e muda. A cultura dominante-dominado impede a evolução e quando levada para a situação global, entende-se que os “gaps” nas transições estão mais severos a cada nova revolução. O estabelecimento de meios para a transição na evolução técnica deve ser conduzido pelas instituições capazes de acompanhar o desenvolvimento técnico e científico de ponta em programas continuados permanentemente.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRETTEL, M.; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M. and ROSENBERG, M. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:8, No:1, 2014.

DILÃO, R. A ciência dos sistemas complexos. Departamento de Física do Instituto Superior Técnico. Lisboa. Portugal. 1995.

DWORSCHAK, B. and ZAISER, H. Competences for cyber-physical systems in manufacturing – first findings and scenarios. 8th International Conference on Digital Enterprise Technology - “Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering towards the 4th Industrial Revolution”. Stuttgart, Germany. 2014.

MAGA, C. and JAZDI, N. Concept of a Domain Repository for Industrial. Automation. Institute of Industrial Automation and Software Engineering (IAS), Universität Stuttgart, Germany. *Proceedings of DE@CAiSE'2009*.

TSALLIS, C. CBPF - Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Sistemas Complexos. Editor Científico Constantino Tsallis. ?  
<[http://www.cbpf.br/~desafios/media/livro/Sistema\\_complexos.pdf](http://www.cbpf.br/~desafios/media/livro/Sistema_complexos.pdf)>

CNI - Confederação Nacional da Indústria. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2016

WÓJCICKI, J. Industry 4.0: The Future of Smart Manufacturing. Praim LTD. 2017  
<<https://www.praim.com/industry-4-0-the-future-of-smart-manufacturing>>

ALLENGINEERINGSCHOOLS. Engineering Careers and The Education You'll Need.  
<<http://www.allengineeringschools.com/engineering-careers/article/become-engineer/>>  
Acessado em 22/05/2017.



## **THE ENGINEERING COURSES METHODS AND THE PREPARATION OF ENGINEERS FOR THE INDUSTRY 4.0**

**Abstract:** *Engineering is the art of applying scientific and mathematical principles, experience, judgment, and common sense. Nowadays, the engineering and production systems are planned with machines connected as a collaborative community and with human interaction by Cyber-Physical Systems. This system production philosophy was named Industry 4.0. For that industrial production systems, the engineers who will work on smart production systems must be trained on that production way before to go out of the engineering schools. This article presents the concepts of 4th Industrial Revolution and a brief discussion about educational methods on some engineering schools and some different methods for professional preparation.*

**Key-words:** Industry 4.0, PLM, Complex systems, Engineering Schools Methods.

Organização



Promoção

