

**Palavras do  
Presidente**  
Gherhardt Ribatski

**A Engenharia  
Mecânica  
em tempos  
de COVID-19**  
Valder Steffen Jr.

**UFRJ-ABCM  
uma trajetória  
de cooperação  
com quase 50 anos**  
Luiz Bevilacqua

**COBEM 2019  
25<sup>th</sup> International  
Congress of  
Mechanical Engineering**  
Enio P. Bandarra Filho  
Daniel Dall'Onder dos Santos

**Engenharia  
Mecânica:  
uma profissão  
(também) feminina**  
Maria Luiza Sperb Indrusiak

**Histórico e Breves  
Comentários sobre  
Energia Solar no Brasil**  
Sérgio Colle

**Avanços e  
perspectivas na  
geração elétrica  
nuclear submarina**  
Renato M. Cotta  
Sylvia Maria C. Anjos  
Fábio M. Passarelli  
Leonam S. Guimarães

**Inspeção de  
Equipamentos**  
Luiz Antônio Moschini de Souza

**O Trabalho:  
Economia e Física  
1780|1830, Parte 4:  
Coriolis, “do Cálculo do  
Efeito das Máquinas” (1829)**  
François Vatín  
Tradução: Agamenon R. E. Oliveira

**Efemérides**

**Eventos ABCM**

**Expediente**



## editorial

Sergio Viçosa Möller



É com grande satisfação que levamos aos nossos leitores esta edição de **ABCM Engenharia** que, como de praxe iniciamos com as Palavras do Presidente, onde o Professor Gherhardt Ribatski descreve as ações da Diretoria neste ano complicado desde o mês de março pela pandemia causada pelo novo Corona-vírus.

Sendo hoje a pandemia assunto normal de nosso dia a dia, convidei o Professor Valder Steffen Júnior, Reitor da Universidade Federal de Uberlândia e Ex-presidente da **ABCM**, para escrever um texto desafiador: “A Engenharia Mecânica em tempos de COVID-19”. Em seu texto, os novos cenários de desafios do engenheiro diante de sua formação são apresentados, nos quais uma pandemia não deve ser considerada como uma surpresa.

Neste ano, a Universidade Federal do Rio de Janeiro celebrou seu 100º aniversário. Sua criação em 7 de setembro de 1920, através de decreto do presidente Epitácio Pessoa, foi a reunião de três instituições já existentes, a Escola Politécnica e as faculdades

de Medicina e Direito. A história de **ABCM** está muito ligada à história recente da UFRJ, como nos conta o Professor Luiz Bevilacqua lembrando os dois primeiros COBEM (73 e 75) que se seguiram à iniciativa do Professor Caspar Stemmer da UFSC em 1971. Os COBEM 73 e 75 foram realizados na COPPE e a **ABCM** foi fundada em 1975 em grande parte devido às iniciativas desses eventos.

A seguir, os Professores Enio Bandarra e Daniel Dall’Onder, *chair* e *co-chair* do COBEM 2019, fazem uma narrativa do evento, realizado em Uberlândia. Intitulado pela própria Organização “*The Best Congress Ever*”, o COBEM 2019 inovou na organização de várias das sessões, entre elas “Mulheres na Ciência”, no qual quatro pesquisadoras narraram sua trajetória profissional, dentre elas a Professora Maria Luiza Sperb Indrusiak, que nos apresenta o texto “Engenharia Mecânica: uma profissão (também) feminina”. A presença das mulheres nas engenharias é analisada partindo da experiência pessoal da Autora, apresentando dados estatísticos e o paradigma de mulheres em cenários ditos “masculinos”.

Depois, o Professor Sergio Colle traça um panorama sobre a energia solar no Brasil desde a crise do petróleo de 1973, os desafios e pesquisas, até a inserção da energia solar na matriz energética brasileira.

Da energia solar vamos à energia nuclear: o Professor Renato Cotta, juntamente com dois pesquisadores da Petrobras, Drs. Sylvia Maria C. Anjos e Fábio M. Passarelli e o Presidente da Eltronuclear, Dr. Leonam Guimarães, trazem uma nova visão da exploração de petróleo em águas ultra-profundas, através da geração de eletricidade para alimentação dos poços de petróleo utilizando reatores nucleares submersos.

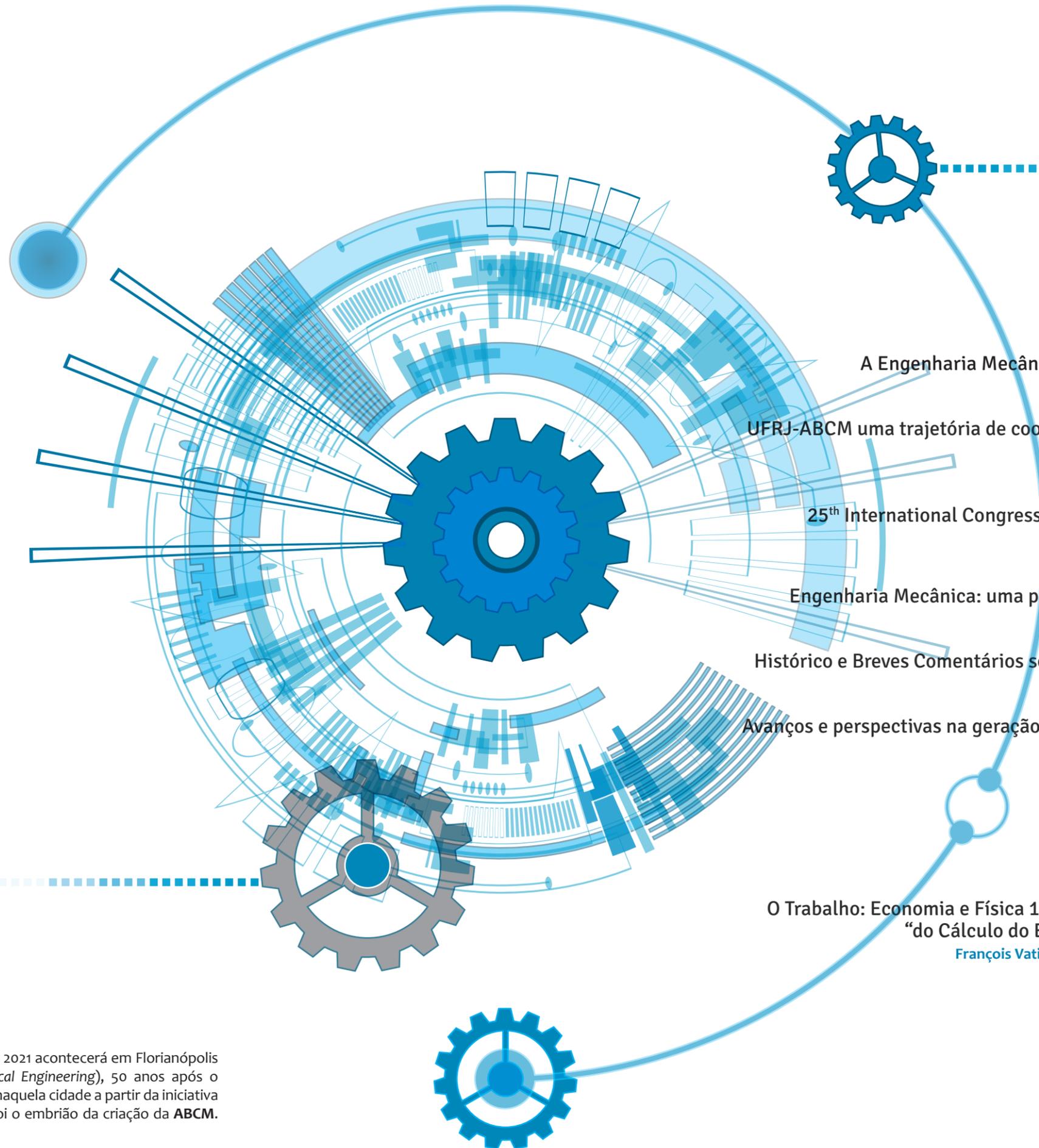
No cenário industrial, a inspeção de equipamentos é peça chave nas questões de segurança e da vida útil das plantas, exigindo técnicos e engenheiros habilitados e certificados. O Engenheiro Luís Antônio Moschini de Souza, professor da UNIPB, nos dá uma visão dos desafios e dos avanços da inspeção de equipamentos em nosso país. Ele é Engenheiro Mecânico com especialização em Inspeção e Corrosão, tendo participado do processo de revisão da NR-13 em 1994 e da Certificação de SPIE no período de 1995 até 2002.

Por fim encerramos com a quarta parte do livro “O Trabalho”, com título “Coriolis - Do cálculo do Efeito das Máquinas”. Esse capítulo conta como Coriolis propõe apresentar “todas as considerações gerais que tendem a esclarecer as questões sobre a economia do que chamamos comumente de a força ou potência mecânica, e de fornecer os meios de reconhecer facilmente quais são as vantagens e os inconvenientes de certas disposições na construção de uma máquina”. *Le Travail: Economie et Physique 1780-1830* é uma obra do filósofo francês François Vatin, Professor da Universidade de Paris, em tradução de nosso colega Professor Agamenon Oliveira.

Além disso, este volume traz as Efemérides, com eventos importantes desde o COBEM 2019 até o fechamento desta edição. A pandemia e a perda de grandes nomes da engenharia nesse período dão a nota triste a essa seção.

Eventos **ABCM** e o Expediente encerram a Revista. Essas duas últimas seções foram como sempre diligentemente preparadas pela nossa Secretária Executiva, Débora Estrella.

Dentre os eventos futuros, vale a pena lembrar que em 2021 acontecerá em Florianópolis o 26º COBEM (26<sup>th</sup> International Congress of Mechanical Engineering), 50 anos após o I Simpósio Nacional de Engenharia Mecânica, realizado naquela cidade a partir da iniciativa do Professor Caspar Stemmer. Esse pequeno evento foi o embrião da criação da **ABCM**.

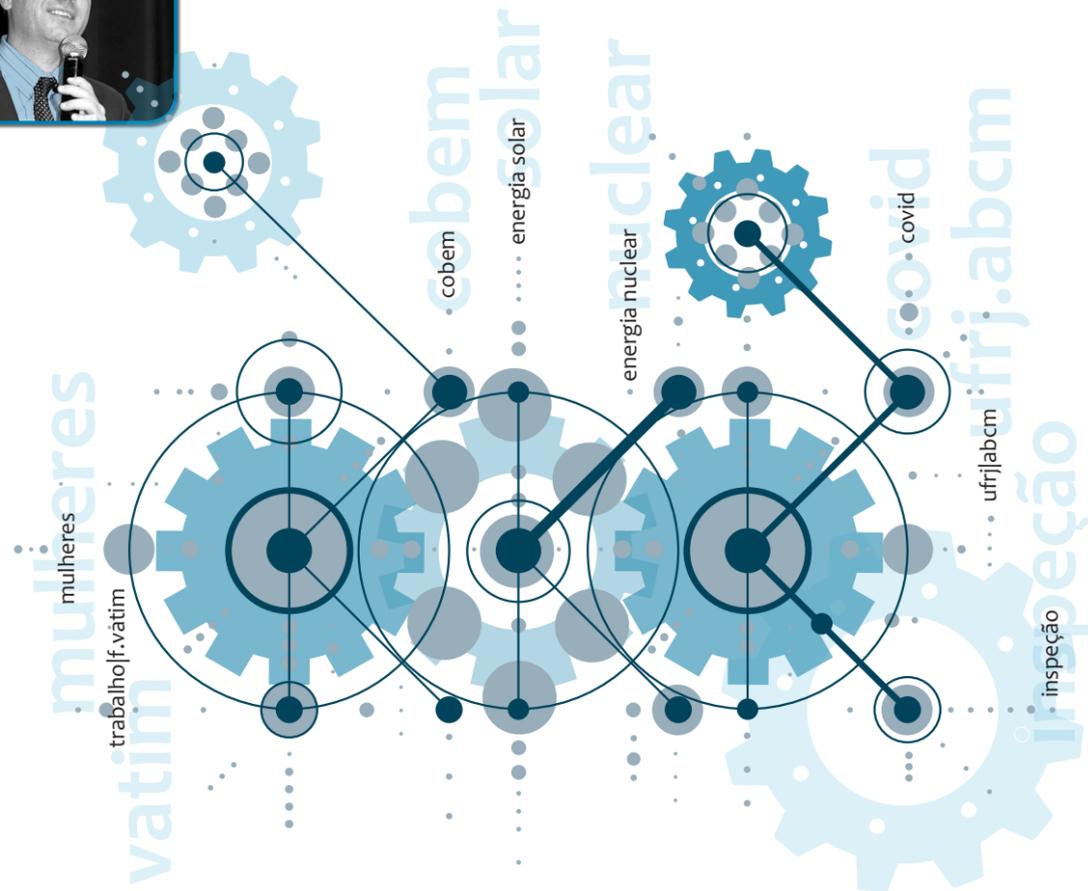


## sumário

Editorial Sergio Viçosa Möller	01
Palavras do Presidente Gherhardt Ribatski	04
A Engenharia Mecânica em tempos de COVID-19 Valder Steffen Jr.	06
UFRJ-ABCM uma trajetória de cooperação com quase 50 anos Luiz Bevilacqua	12
COBEM 2019 25 <sup>th</sup> International Congress of Mechanical Engineering Enio P. Bandarra Filho Daniel Dall'Onder dos Santos	14
Engenharia Mecânica: uma profissão (também) feminina Maria Luiza Sperb Indrusiak	18
Histórico e Breves Comentários sobre Energia Solar no Brasil Sérgio Colle	23
Avanços e perspectivas na geração elétrica nuclear submarina Renato M. Cotta, Sylvia Maria C. Anjos, Fábio M. Passarelli, Leonam S. Guimarães	29
Inspeção de Equipamentos Luiz Antônio Moschini de Souza	38
O Trabalho: Economia e Física 1780/1830, Parte 4: Coriolis, “do Cálculo do Efeito das Máquinas” (1829) François Vatin   Tradução: Agamenon de Oliveira	45
Efemérides	55
Eventos ABCM 2021	59
Expediente	60

# palavras do presidente

Gherhardt Ribatski > Presidente da ABCM



Caros colegas, inicio expressando condolências àqueles cujos filhos, cônjuges, pais, avós, e amigos foram retirados temporariamente do nosso convívio pela COVID-19. É duro ver partir alguém que amamos, no entanto acredito que o abraço, ainda que virtual, a solidariedade e a fraternidade de amigos possam trazer algum conforto neste difícil momento, e certamente os sentimentos que os uniam e as boas lembranças de momentos compartilhados serão permanentes.

2020, além da perda de entes queridos pela pandemia, colocou-nos diante de desafios tanto pessoais, como a necessidade de amoldamento ao isolamento social, como profissionais, incluindo o desemprego, a paralização de nossas pesquisas e a necessidade de adaptação ao ensino remoto. No âmbito da **ABCM**, com o desenvolver da pandemia, medidas fizeram-

se necessárias visando á continuidade de nossas atividades, entre elas a operação virtual de nossa sede, realização de reuniões da diretoria e do conselho por meio de plataforma de videoconferências, eventos foram cancelados e outros realizados no formato não presencial e alguns projetos estabelecidos para ocorrerem durante o corrente ano foram adiados.

Este ano foi também caracterizado por mudanças e incertezas quanto ao financiamento e à definição de políticas públicas para as Ciências do Brasil. Transitamos de um período recente, de forte expansão do ensino superior e da pós-graduação, sem devida atenção à qualidade, para um período de retração com oportunidades praticamente nulas para nossos jovens doutores. Ambas as situações contribuem para a destruição de nossos jovens talentos, a primeira por proporcionar oportunidades baseando-

se em critérios marginalmente meritocráticos, não premiando a excelência, e a segunda por não oferecer condições para recém doutores, muitas vezes mentes brilhantes em cuja formação o país já investiu enormemente, desenvolverem-se profissionalmente. Vale destacar que a criação de oportunidades para estes recém doutores na iniciativa privada ainda se trata de um sonho de difícil realização, ainda mais em um ambiente de crise econômica a qual, considerando as premissas atuais, deve se acentuar em curto e médio prazo. Neste contexto, enfatizo mais uma vez a necessidade de atuarmos junto aos nossos representantes no executivo e legislativo, propondo programas e cobrando que desenvolvam políticas públicas, livres das amarras da demagogia e que fomentem o ensino e a pesquisa de qualidade no Brasil.

Voltando ao ano de 2019, parabeno nossos colegas da UFU, capitaneados pelo Professor Bandarra, pelo sucesso do evento. Nele tivemos a oportunidade de rever colegas seniores que a tempo não participavam das atividades de nossa associação e, também, homenagear àqueles que tanto contribuíram para a Engenharia e Ciências Mecânicas do Brasil, com destaque a primeira edição do Prêmio Prof. Leonardo Goldstein Jr., laureado ao Professor Luiz Bevilacqua. Já, no ano de 2020, infelizmente com a evolução da pandemia e o acirramento de suas consequências, somados ao reduzido prazo para organizá-los de forma remota, fez-se necessário adiar em dois anos o XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM 2020) e o VII Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica (ENEBI 2020), mantendo como seus organizadores docentes respectivamente da UFPI e da UFG, aos quais agradeço o esforço empreendido e a compreensão e apoio à decisão tomada. Em setembro a **ABCM** promoveu seu primeiro evento virtual, a 12ª Escola de Primavera de Transição e Turbulência (EPTT 2020) organizada pela FURB, cujo sucesso foi notório, caracterizado por elevada audiência, excelentes aulas e palestras com discussões profícuas sobre os temas afeitos. Ainda temos programados no formato on-line para realização no ano de 2020 o 18<sup>th</sup> Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering (ENCIT 2020) pela UFRGS e o XXVII Congresso Nacional dos Estudantes de Engenharia Mecânica (CREEM 2020) pelos alunos da UFPR. Em nome da diretoria aproveito a oportunidade para agradecer e reconhecer o engajamento dos organizadores da EPTT 2020, ENCIT 2020 e CREEM 2020 por aceitarem o desafio de organização dos eventos em um novo formato e, também, pela excelência com a qual os executam.

É foco desta gestão fomentar a atuação da **ABCM** junto a nossa sociedade. Neste contexto, a **ABCM**

mantve sua participação como representante do setor acadêmico, por meio do seu diretor presidente, no Conselho Gestor do programa ROTA 2030, junto ao ministério da Economia. Considerando a urgência de medidas visando reduzir os danos da pandemia, em abril deste ano a Diretoria da **ABCM**, apoiada pelo Conselho Deliberativo, lançou edital de apoio a pesquisadores atuando no combate à COVID-19 por meio da fabricação e desenvolvimento de equipamentos em falta no mercado devido a elevada demanda. Foram apoiados com R\$ 10.000,00 grupos de pesquisa da USP|SC, UFU, COPPE|UFRJ e UFRGS atuando principalmente na fabricação de máscaras e ventiladores pulmonares. Mantendo iniciativas tomadas em gestões anteriores, deu-se continuidade ao programa de Bolsas de Iniciação Científica da **ABCM**, com o financiamento de bolsistas alunos de graduação, orientados em suas pesquisas por jovens professores.

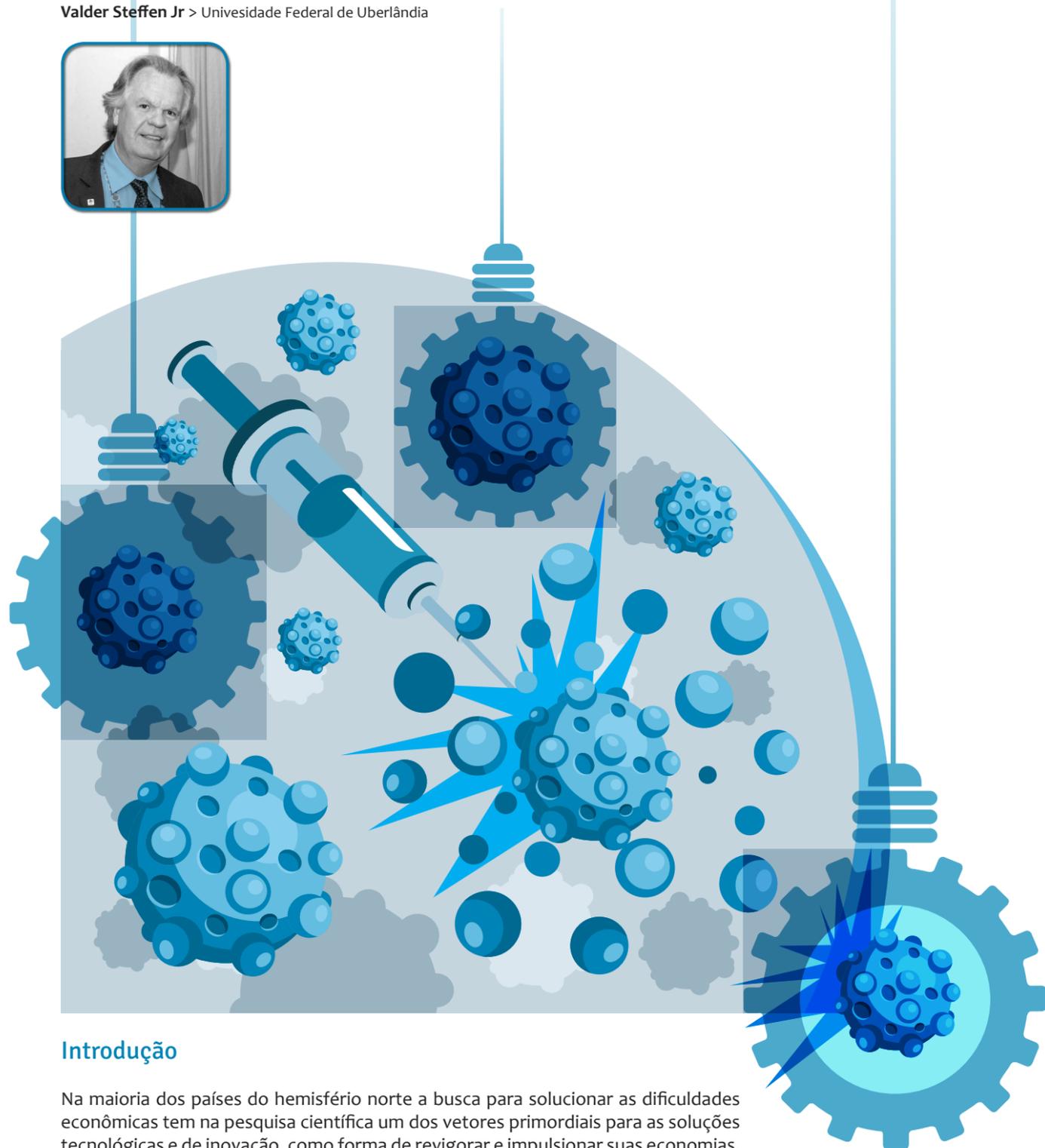
Em relação às publicações **ABCM**, mantivemos a tendência de aumento do fator de impacto da BMSE de 1,743 referente a 2018 para 1,755 a 2019. No entanto, a grande contribuição dos Profs. Jader Riso Barbosa Jr. e Marcelo Areias Trindade, Editores-chefes da BMSE, vai além do aumento do fator de impacto e encontra-se associada ao aprimoramento da qualidade dos artigos publicados e das áreas temáticas do periódico. É também reconhecida a dedicação e excelência do trabalho executado pelos editores das demais publicações da **ABCM** (**ABCM** Engenharia, **ABCM** Symposium Series, RETERM), destacando o importante papel de divulgação técnica e científica executado por eles.

Informo ainda, que apesar das iniciativas de apoio implementadas e a aquisição da nova sede em 2019, a situação financeira da nossa associação se encontra administrada de forma responsável, permitindo dar continuidade às atividades da **ABCM** ainda que o período de turbulências se prolongue. Tal condição só é possível graças às ações pregressas e contemporâneas de colegas de diretoria, colaboradores, membros do Conselho, Secretários e Membros de Comitês Técnicos, Editores-Chefes e Associados de nossos periódicos, organizadores de eventos e toda comunidade **ABCM** que contribuíram para o fortalecimento da nossa Associação.

Finalizo, lembrando que unidos somos mais fortes e expressando que, apesar das dificuldades manifestas no horizonte, a nossa gestão continuará em 2021 atuando junto com a comunidade com dedicação e extrema motivação para o progresso da Engenharia e Ciências Mecânicas do Brasil, buscando contribuir para o crescimento científico e tecnológico de nosso país.

# a engenharia mecânica em tempos de COVID-19

Valder Steffen Jr > Univesidade Federal de Uberlândia



## Introdução

Na maioria dos países do hemisfério norte a busca para solucionar as dificuldades econômicas tem na pesquisa científica um dos vetores primordiais para as soluções tecnológicas e de inovação, como forma de revigorar e impulsionar suas economias. Estas atividades, realizadas através de laboratórios e grupos de pesquisa de

universidades e centros de pesquisa, promovem a criação de empresas de base tecnológica, incentivam o aparecimento de *startups* e buscam soluções para empresas públicas e privadas. Este processo foi bastante impulsionado no século XXI, quanto começamos a avançar de maneira muito mais nítida dentro do que se tem chamado como “era do conhecimento”, não sem antes passarmos por uma transição, saindo da assim denominada “era da informação”. Isso porque, conceitualmente, considera-se a informação como algo amplamente disponível (computação digital, redes de computadores, bancos de dados, bibliotecas digitais, redes sociais etc) e de fácil acesso. Já o conhecimento é resultado do processamento da informação, tornando-a cada vez mais produtiva, impondo novos desafios para a formação geral e, particularmente, para os engenheiros e, também, para a organização e planejamento das empresas, sejam elas públicas ou privadas. Assim, na era do conhecimento, tem-se uma valorização da flexibilidade e da qualidade e, sendo o conhecimento dinâmico, requer-se uma postura aberta, criativa, de investigação constante, crítica, reflexiva.

Neste contexto, a universidade começou a mover-se quanto ao desenvolvimento de políticas capazes de levar os estudantes a terem uma visão bem fundamentada e crítica da realidade social, para que possam exercer com responsabilidade sua cidadania (inclusão da extensão como componente curricular, por exemplo). Evidentemente, tratando-se de universidade pública, esta tem como dever o estar comprometida com a construção de uma sociedade mais justa e igualitária, especialmente num país com uma dívida social tão importante, como é o caso do Brasil. Esse sistema vem se constituindo como a base da produção de conhecimento e de tecnologia e, por conseguinte, de riqueza para o país. Atualmente, o maior desafio para o gerenciamento desse sistema é o estabelecimento de uma base sólida de financiamento sustentável a longo prazo, permitindo assim o desenvolvimento de uma ciência articulada aos grandes problemas nacionais e, em particular, visando diminuir suas muitas assimetrias. Voltando nosso olhar à formação de engenheiros, observa-se uma preocupação cada vez maior com o perfil desejável deste profissional, para que seja capaz de enfrentar os enormes desafios da era do conhecimento, além de conseguir permanecer atualizado durante toda sua vida profissional.

Eis então que surge, em 2020, a pandemia de escala global, causada pelo novo coronavírus, conhecida como COVID-19, sendo esta provocada pelo agente etiológico denominado SARS-CoV-2.

O que se sabe é que o vírus surgiu, primeiramente na China, em novembro de 2019, sendo caracterizado pelo aparecimento de grave doença respiratória, na cidade de Wuhan, província de Hubei. Sua propagação pelo país e por todo o mundo se deu de forma rápida, motivando a Organização Mundial de Saúde (OMS) a declarar a COVID-19 uma pandemia, em 11 de março de 2020. No Brasil, em grande parte das universidades públicas, as atividades presenciais foram suspensas, passando o ensino, naquilo que se considera possível, a ser ministrado de forma remota, emergencialmente.

Daí, aparecem naturalmente algumas perguntas instigantes no campo das engenharias: como passaram a atuar os engenheiros, particularmente os engenheiros mecânicos, nas empresas aqui no Brasil e pelo mundo afora? E como foi impactada a formação destes engenheiros? E a pesquisa e a inovação tecnológica, tão necessárias para nosso país? São dúvidas que não buscaremos encontrar respostas, mas tão somente apresentar algumas análises, de forma ainda muito preliminar, ou seja, é uma breve reflexão que passamos a fazer e não tem a intenção de responder a estas perguntas, pois carecemos de mais tempo, para permitir aos governos, universidades, centros de pesquisa e de inovação, empresas, de forma isolada e em conjunto, tenham acumulado conhecimentos e experiências, tendo em vista enfrentar os desafios durante e o após pandemia, para que tudo fique mais claro e seja possível um diagnóstico mais preciso a ser desenhado. E não apenas isso, mais será certamente indispensável que seja feito também um prognóstico capaz de nos orientar, com certa segurança, ao longo dos próximos anos.

## O perfil do engenheiro mecânico

Considerando que continuaremos a caminhar dentro da era do conhecimento, a formação do engenheiro mecânico deve permitir a construção de um perfil profissional que seja capaz de atender a algumas características que nos parecem fundamentais. Neste sentido, usamos como referência um trabalho de escopo mais geral, conforme (Beard, 2018).

### Pensamento crítico

Trata-se aqui da capacidade de analisar e avaliar as fontes de informação disponíveis, transformando-as em conhecimento palpável e imediatamente aplicável.

### Criatividade

Tem a ver com a capacidade de participar, imaginar, encontrar expressão, propósito e motivação própria

dentro do que são os desafios do trabalho do engenheiro e assim, poder inovar.

#### Cooperação

Nesta reflexão, trata-se muito mais do que apenas saber trabalhar em grupo, mas sobretudo, levar em conta aspectos políticos, encontrar interesses comuns, criar redes de solidariedade, reconhecer de maneira mais coerente e responsável o papel do engenheiro na sociedade em que vive (Ex.: questões da desigualdade, fluxos migratórios, mudanças climáticas, uso e manejo da energia etc).

#### Entender e usar responsabilmente as ferramentas tecnológicas disponíveis

É impressionante a quantidade de dados, códigos computacionais, algoritmos e outras ferramentas tecnológicas que podem ser úteis no projeto e desenvolvimento de processos e produtos da indústria e, também, para a inovação. A dificuldade é encontrada ao se considerar como usá-las de maneira ética, eficiente e segura.

#### Inteligência emocional

Trata-se da capacidade de manter o equilíbrio próprio e o bem-estar da equipe. É cada vez mais necessário entender como as emoções operam e como construir empatia. A competição profissional tem criado

ambientes carregados de desconfiança que impedem o exercício saudável e produtivo da engenharia.

#### Ser independente e fazer suas próprias escolhas

Encarar o mundo e os desafios profissionais com confiança. Acreditar num futuro melhor para si mesmo e para a sociedade, e trabalhar para isso. Especialmente no Brasil, este ponto merece atenção e cuidado.

#### Estar disposto a atuar no contexto internacional

Já se sabe que o engenheiro talvez seja o profissional que mais tem se internacionalizado. Isso exige preparação em aspectos legais e culturais que parecem não estar presentes em muitos programas de formação de engenharia (Ex. Engenharia simultânea: projetos que dependem de componentes fabricados em países diferentes, por equipes distintas, mas que precisam de interação e cooperação para serem concluídos). Algumas universidades europeias desenvolveram o conceito de “internationalization at home”, ou seja, operar as universidades segundo padrões internacionais e dimensões interculturais para que, mesmo estando em sua própria instituição, o estudante seja familiarizado com práticas e relacionamentos globais.

Assim, pensando na formação do profissional de engenharia (eventualmente do engenheiro mecânico), uma contribuição anterior, também de caráter geral (Kersten et al, 2011), foi usada como referência para o contexto atual, conforme a Fig. 1.

Pode-se verificar que a formação do engenheiro há de contemplar a economia, a ciência, a sociedade e o próprio estudante, lembrando que estes estão todos interligados, inclusive quanto à internacionalização, esta, cada vez mais forte. Quanto à economia, é importante considerar a estrutura de produção e serviços, o trabalho e a valorização profissional e as demandas do trabalho nas empresas públicas e privadas. Já a ciência comparece com seus temas de pesquisa e métodos científicos e o desenvolvimento de técnicas, tecnologias e inovação. Por sua vez, a sociedade é caracterizada por suas necessidades e valores sociais e contempla as percepções do homem e da mulher na sociedade. Finalmente, o estudante é um indivíduo com habilidades e necessidades, considerados os aspectos cognitivos e psicológicos. Salienta-se que economia, ciência, sociedade e estudante são interligados e interagem entre si de diferentes maneiras. Tudo isso acaba por formar as demandas da educação superior e definição do perfil do profissional (do engenheiro mecânico, no nosso caso), sendo tais demandas associadas aos objetivos dos cursos e sua organização (projeto político pedagógico do curso). Parece ser necessário apontar que os aspectos cognitivos e psicológicos do estudante nem sempre é considerado com a intensidade e eficiência adequadas, levando muitas vezes a uma certa frustração dos estudantes com relação ao curso que escolheu.

Ainda que rapidamente, é relevante mencionar um estudo recente apresentado pela National Academy of Engineering dos EUA, no qual são discutidos vários desafios para a engenharia. Observa-se que para o atendimento de todos eles requer-se a forte participação da engenharia mecânica. Segue apenas uma referência a estes tão relevantes desafios: tornar economicamente viável o uso intenso da energia solar (make solar energy economical); prover energia a partir da fusão nuclear (provide energy from fusion); desenvolver métodos capazes de reduzir a emissão de dióxido de carbono (develop carbon sequestration methods); dominar o ciclo do nitrogênio (manage the nitrogen cycle); prover acesso à água potável (provide access to clean water); restaurar e melhorar a infraestrutura urbana (restore and improve urban infrastructure); fazer avançar a informática para a saúde (advance health informatics); melhorar os medicamentos usando a engenharia (engineer better medicines); avançar a engenharia reversa do cérebro (reverse-engineer the brain); evitar o terror nuclear (prevent nuclear terror); garantir a segurança do ciberespaço (secure cyberspace); melhorar a tecnologia de espaço virtual (enhance virtual reality); avançar o aprendizado personalizado (advance personalized learning); desenvolver a engenharia

que cria ferramentas para a descoberta científica (engineer the tools of scientific discovery).

O autor se permite aqui uma rápida reflexão, ou seja, diante da maravilha da engenharia mecânica, quantas possibilidades existem desde já para a nova geração de engenheiros, tornando nossa área uma das mais desafiadoras e fantásticas à vista do futuro da humanidade. Neste contexto, formuladores de política de desenvolvimento científico, tecnológico e da inovação, têm a responsabilidade de estarem atentos a tudo isso e garantirem meios e recursos para que nosso país não perca este momento, sob pena de graves prejuízos coletivos no futuro. Fica aqui registrado este alerta!

### Novas Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de graduação em engenharia - DCN's

Em junho de 2020 foi publicado o Relatório Síntese, que trata das novas diretrizes curriculares nacionais para os cursos de engenharia. Trata-se de um trabalho realizado por uma Comissão Nacional bastante representativa que se debruçou sobre a matéria desde o segundo semestre de 2019. A coordenação desta comissão Coordenação foi presidida pelo CNE e composta por Abenge, Confea e CNI|MEI. Na introdução deste documento, é apresentada a seguinte reflexão: “As novas diretrizes são um meio de resposta às transformações pelas quais passam a sociedade global, que experimenta um período de mudanças profundas nas formas de produção, de consumo e de relacionamento. As tecnologias de informação e comunicação (TICs) estão na base dos novos hábitos e processos, abrindo caminho para o que se denomina de revolução digital. Fazem parte desta revolução a maior automação e robotização das empresas, difusão da aplicação do machine learning, criação de um enorme mercado de serviços via aplicativos com impacto sobre a socialização, locomoção e comunicação entre as pessoas. É comum encontrar ainda menção ao crescente uso da inteligência artificial, big data e computação em nuvem, expansão de redes 5G, novas aplicações da medicina de precisão, adoção de cada vez mais formas de realidade virtual como simulações e treinamentos nas diversas atividades, entre outras.” Na sequência, o relatório mencionado traz cinco eixos temáticos que merecem reflexão da comunidade acadêmica. São eles: Desenho do Projeto Pedagógico do Curso, Avaliação da Aprendizagem e Gestão do Projeto Pedagógico, Capacitação dos Docentes dos Cursos de Engenharia, Interação entre Instituição de Ensino e Ambiente do Trabalho, e Atribuição Profissional.

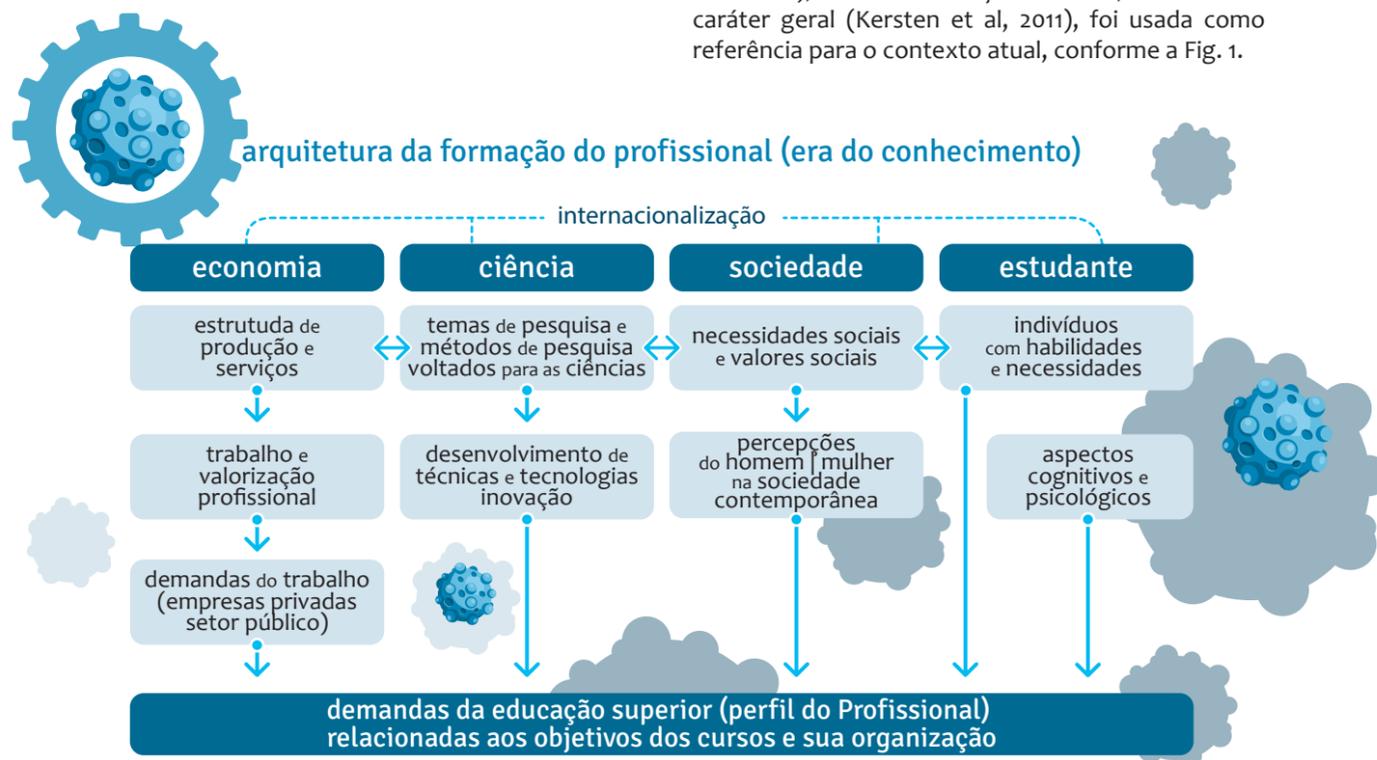


Figura 1: Arquitetura da formação do profissional de engenharia. Credits: Kersten, 2011.

Nesta contribuição, não pretendo alongar-me sobre as novas diretrizes nacionais dos cursos de graduação, pois o relatório mencionado é bastante detalhado e merece ser avaliado pela comunidade, especialmente por aqueles que se preocupam com a formação do engenheiro, particularmente os colegiados de curso. A rápida menção que acabo de fazer, juntamente com o perfil de formação do engenheiro mecânico, permitem apontar para o ambiente que tínhamos até pouco antes do início da pandemia da COVID-19. Ou seja, um mundo em rápida transformação, principalmente em seus aspectos tecnológicos, científicos, econômicos e sociais. Todos estes aspectos, conforme visto anteriormente, tem a ver com a formação do engenheiro e também sobre sua atuação na sociedade.

## A engenharia mecânica e a pandemia da COVID-19

Ao refletir sobre este tema, qual não foi minha surpresa ao examinar o relatório NAE *Grand Challenges for Engineering*, claramente produzido antes da pandemia da COVID-19, encontrar um capítulo com o título “Como se preparar para uma pandemia”. Dentre tantas considerações que se tornaram de uma atualidade gritante, o texto traz à página 28 uma consideração de caráter geral conforme segue: “*A major goal of pandemic preparedness is a good early warning system, relying on worldwide surveillance to detect the onset of a spreading infectious disease.*” E, na sequência, discute a importância dos modelos matemáticos usados pelos engenheiros com a finalidade de prever o comportamento da doença na população, projetar novos medicamentos e vacinas, por exemplo. Mais à frente neste mesmo capítulo, ao referir-se sobre os modelos matemáticos, conclui com a seguinte citação: “*It will be imperative to collect the most detailed data on the . . . characteristics of a new virus . . . and to analyze those data in real time to allow interventions to be tuned to match the virus the world faces*” (Ferguson et al., 2006).

*The Institution of Mechanical Engineers* numa publicação de 29 de junho deste ano, comentando sobre a influência da pandemia sobre a engenharia mecânica comenta quatro aspectos que merecem destaque.

O primeiro é a “**cooperação**”. Trata-se da rede de solidariedade que se criou para o desenvolvimento e produção de itens de engenharia indispensáveis ao enfrentamento da pandemia: ventiladores,

equipamentos de proteção individual, e engenharia hospitalar são exemplos de áreas em que a engenharia mecânica se mostrou presente. E estas redes de colaboração têm sido formadas entre as universidades e também empresas. A própria **ABCM** envolveu-se desde cedo ao contatar grupos de pesquisa que pudessem colaborar e, também, ao ajudar no financiamento de projetos propostos por grupos que compareceram ao chamamento. A expectativa é que estas redes permaneçam após a pandemia e que tenhamos um contexto onde exista mais solidariedade e sensibilidade às necessidades globais da humanidade (talvez este aspecto possam ser mais um legado do novo coronavírus).

O segundo aspecto tem a ver com a “**velocidade da resposta**”. Em muitos países os governos levantaram amarras que podem travar a rapidez do desenvolvimento de projetos e protótipos, beneficiando a todos com a disponibilização de produtos e serviços indispensáveis para o combate à pandemia.

O terceiro é o “**trabalho remoto**”. Muitas empresas públicas e privadas, e também universidades adotaram esta forma de garantir o trabalho e, ao mesmo tempo, assegurar o distanciamento entre as pessoas por razões sanitárias. Surpreendentemente esta modalidade de trabalho tem funcionado muito bem. O que era antes da pandemia algo ainda em experimentação em grande parte das instituições apresenta-se agora como uma alternativa viável, sem perda de produtividade e eficiência. O teletrabalho veio para ficar.

Finalmente, o quarto aspecto é o aparecimento de “**novos focos**” para pesquisa e desenvolvimento. Novas tecnologias de ventiladores, superfícies anti-bactérias, dispositivos para monitoramento de temperatura, modelos matemáticos sofisticados capazes de analisar cenários próprios de pandemias (otimização, problemas inversos, análise de incertezas, teoria dos jogos), inteligência artificial e machine learning, dentre tantos outros temas. Entretanto, é inegável que o setor industrial da engenharia mecânica tem sofrido enormemente as consequências da COVID-19. Por exemplo, a indústria automobilística em países da Europa e nos Estados Unidos dão conta de que estão operando bem abaixo da média de produção, algo que tem também sido observado no Brasil. Por outro lado, existem indicações de que o setor já esteja confirmando melhora em países como a China.

É ainda prematuro avaliar a influência da pandemia do novo coronavírus sobre a produção científica nas diversas áreas do conhecimento e, em particular, na engenharia mecânica. O que tem sido observado é que diversos eventos científicos internacionais têm sido cancelados, outros propõem um formato remoto, mas certamente sem os atrativos mais importantes dos eventos científicos: networking, discussões temáticas intensas, relações internacionais e interinstitucionais são alguns dos aspectos comprometidos. Por outro lado, tem-se notícia de que diversos grupos de pesquisa mundo afora têm continuado com atividades remotas. Certamente aquelas que exigem atividades presenciais vêm sendo prejudicadas desde março de 2020. As expectativas para o ano de 2021 dependem do sucesso das várias vacinas que estão sendo testadas, com destaque para aquelas que cumprem integralmente e de forma transparente os rígidos protocolos que garantem sua segurança e eficácia.

Quanto às universidades, a boa notícia de que as aulas emergenciais remotas estão funcionando melhor do que o esperado inicialmente. É até possível prever que, após a pandemia, feita uma avaliação criteriosa das aulas remotas e identificadas as experiências positivas, poderão ser incorporadas ao cotidiano das nossas instituições. Evidentemente, aqui se faz distinção entre o que vem sendo feito, aulas remotas, e o Ensino à Distância (EAD), este uma modalidade de ensino diferente da modalidade presencial e que exige treinamento adequado de equipes especializadas, além de equipamentos de tecnologia. Aliás, universidades e institutos federais constataram nesta pandemia as limitações de pessoal e de equipamentos de tecnologia, resultado da falta crônica de recursos de investimentos, mas, também, da falta de planejamento.

Há que se considerar, entretanto, que as universidades de uma maneira geral têm demonstrado seu valor durante esta pandemia da COVID-19. Neste sentido, o MEC vem colecionando as diversas ações das IFES através de um painel que pode ser encontrado em <http://portal.mec.gov.br/coronavirus/>. Uma parte desta contribuição vem das engenharias; pode-se certamente fazer um recorte daquilo que é a participação da engenharia mecânica. Há muito do que nos orgulharmos do comportamento e da resposta de nossas universidades desde que tudo começou.

## Conclusão

Estes tempos de pandemia nos deixam (ou nos relembram) algumas importantes lições: a centralidade da ciência, como porto seguro para nos proteger de outra “pandemia”, das *fake news* e dos achismos de toda ordem e de todas as origens. Por outro lado, o estágio de desenvolvimento tecnológico e inovação encontrados em nossa indústria impuseram dificuldades ao atendimento à saúde, ou seja, a corrida para importações e os preços abusivos, colocaram em revelo a necessidade de esforços contundentes - governo federal, os estados, municípios e empresas - para que o país tenha uma indústria atualizada e competitiva, especialmente aquela relacionada ao atendimento à saúde.

Enquanto docentes, engenheiros e cientistas, atuando em áreas do conhecimento da engenharia e afins, temos que reconhecer que os grandes heróis desta pandemia são os profissionais da saúde, especialmente aqueles que atendem na proximidade dos leitos dos pacientes infectados pela COVID-19, com destaque para os leitos de UTI. E o grande herói institucional tem sido o SUS - Sistema Único de Saúde, que tem tido desempenho exemplar no atendimento às prerrogativas constitucionais: saúde é direito do cidadão e dever do estado. A estes profissionais e ao SUS, nossa eterna gratidão!

## Bibliografia

NAE Grand Challenges for Engineering, 2017; <https://www.nae.edu/187212/NAE-Grand-Challenges-for-Engineering>. Beard, A., 2018, Teach for All.

Ferguson, Neil M., et al. 2006. Strategies for Mitigating an Influenza Pandemic. *Nature* 442(July 27): 448-452. DOI: 10.1038/nature04795.

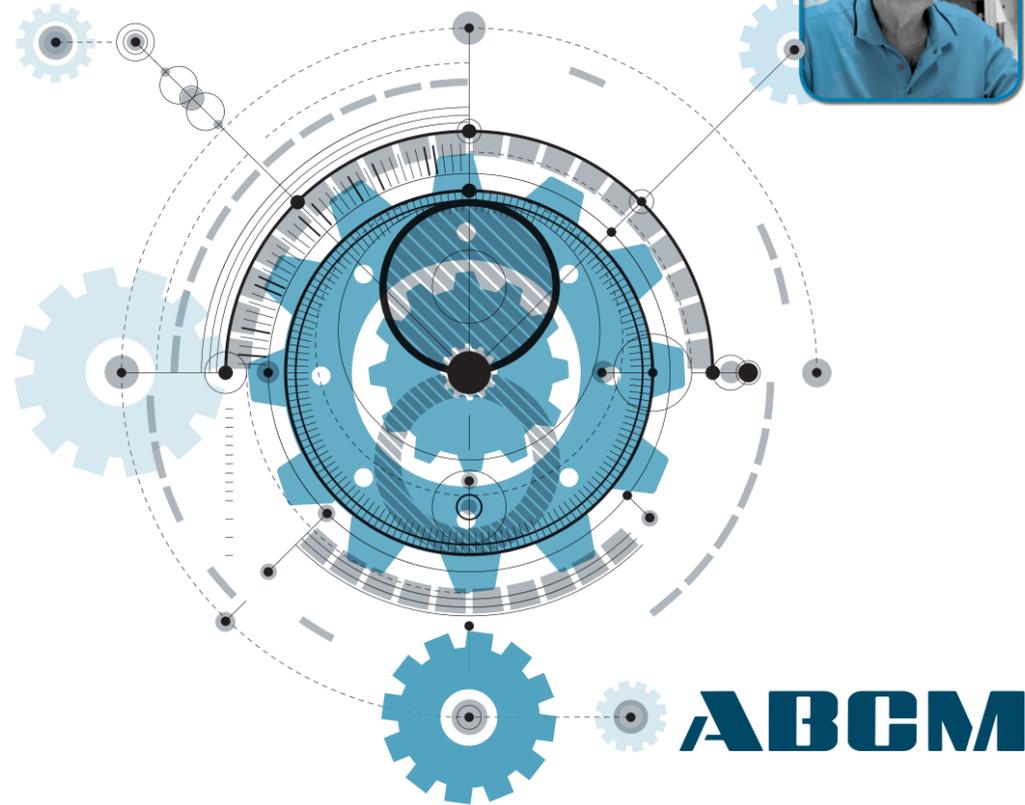
Kersten, S., 2011, EE-DIDACT - Engineering Pedagogy at Universities in Saxony - a research and further education project of TU Dresden and University of Applied Sciences Zittau/Gorlitz.

<https://www.imeche.org/news/news-article/4-ways-engineering-could-change-after-the-covid-19-pandemic>.

# UFRJ | ABCM uma trajetória de cooperação com quase 50 anos

Luiz Bevilacqua > COPPE/UFRJ

**UFRJ**



A UFRJ completa este ano o seu primeiro centenário. Os primeiros cinquenta anos foram caracterizados pela prioridade na formação das novas gerações. Inicialmente formada pela reunião da Escolas de Medicina, Engenharia e Direito, a partir da década de 1930 começou a incorporar outras Faculdades. No entanto só a partir da década de 70, com cerca de 50 anos desde sua fundação, começou a ser introduzida a atividade de investigação científica e tecnológica na universidade.

A atividade de pesquisa com professores contratados em tempo integral, completava a missão da universidade incluindo agora estudantes de pós-graduação. A nova organização universitária que rapidamente espalhou-se pelas universidades brasileiras permitiu uma integração muito maior entre elas comparado à modesta, quase inexistente, interação entre os participantes do nosso ensino superior nas décadas anteriores.

A atividade de pesquisa estimulando a cooperação interuniversitária com a movimentação de estudantes nos nossos cursos de pós-graduação necessitava de um canal mais formal de comunicação. Um deles, o mais imediato, era a organização de simpósios e reuniões científicas. Foi assim que, a partir de um evento organizado pelo Professor Stemmer então diretor do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC em 1971, surgiu a ideia de realizar o Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. O evento na UFSC, por modesto que possa ter sido, foi a centelha que disparou a organização dos “Congressos Brasileiros de Engenharia Mecânica”.

VENTO	CONFERÊNCIAS CONVIDADAS		ARTIGOS TÉCNICOS				NÚMERO DE VOLUMES	ÓRGÃOS DE APOIO E PATROCÍNIO	LOCAL	PERÍODO
			TOTAL		AUTORES E CO-AUTORES					
	NACION	INTERN	TRABAL	N. TECN	NACION	INTERN				
EM 71 <sup>(1)</sup>	6	6	-	-	-	-	-	1	FLORIANOPOL.	19 A 2 NOV/71
EM 73 <sup>(2)</sup>	4	1	70	-	108	4	4	4	RIO DE JAN.	05 A 0 NOV/73
EM 75	2	2	69	37	80	26	4	3	RIO DE JAN.	09 A 1 DEZ/75

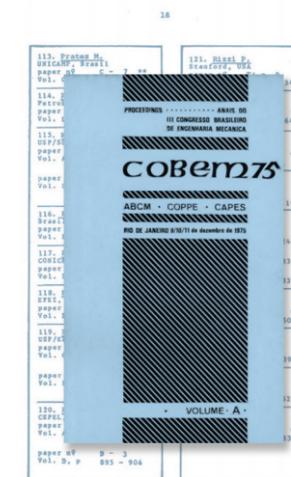
Foi assim que, depois que a UFRJ completou 50 anos, foi realizado na COPPE-UFRJ o primeiro COBEM, com esse nome, o COBEM-73.

A comissão organizadora do COBEM-73, animada pelo sucesso da iniciativa e com o apoio da pequena comunidade brasileira que se formava resolveu dar continuidade à iniciativa. Foi anunciado o COBEM-75, mais uma vez na UFRJ. Grande para a época, os

trabalhos ficavam em torno de cem.

Assim em 1975 foi realizado o COBEM-75. Um fato interessante foi a publicação dos Anais dos dois Congressos em 1975. Em 1973 não foi possível publicar os anais, mas em 1975 com dedicação excepcional de vários professores do Programa de Engenharia Mecânica foram publicados ambos, COBEM 73 e COBEM-75.

COBEM 75	
<b>presidente:</b>	Luiz Bevilacqua > COPPE UFRJ
<b>vice-presidentes:</b>	Sidney Stuckenbruck > PUC RJ Alcyr F. Orlando > UNICAMP
<b>secretário:</b>	Solly Segenreich > COPPE UFRJ
<b>editor-chefe:</b>	W. M. Mansour > COPPE UFRJ
<b>conselho editorial:</b>	Arthur Ripper Neto > CEPEL Decio Zagottis > USP Djalma R. Teixeira > PROMON S. A. Hans I. Weber > UNICAMP Nelson Back > CT UFSC W. Altman > ITA CTA
<b>tesoureiro:</b>	Moyses Zindeluk > COPPE UFRJ



COBEM 75	
País	trabalhos
Brasil	125
EUA	15
Canada	11
Argentina	09
Chile	03
Venezuela	03
Yugoslávia	03
França	02
Alemanha	02
Inglaterra	01
Nigéria	01
<b>Total</b>	<b>175</b>

A fundação da ABCM deve-se ainda em grande parte à iniciativa dos COBEM, principalmente o de 71 e o de 73. Outra iniciativa importante onde os professores da UFRJ têm tido um papel destacado como membros da ABCM é a participação na International Union of Theoretical and Applied Mechanics (IUTAM). Desde sua aceitação como membro da IUTAM em 1982, professores da UFRJ, tem se empenhado em manter o Brasil presente na associação através da ABCM, não apenas na participação de Congressos e Simpósios mas como membros ativos na direção. Atualmente temos participação tanto na Assembleia Geral como no Comitê Executivo.

Certamente essas duas iniciativas não esgotam a participação dos docentes da UFRJ, particularmente aqueles atuando no Instituto Alberto Coimbra - COPPE|UFRJ, para o engrandecimento da ABCM. Refiro-me apenas aos dois acima por serem pontos de partida que tem dado origem a vários outros eventos que engrandecem a nossa Associação e contam com a cooperação de várias das nossas universidades e institutos de pesquisa.

Ao longo desses 45 anos de ABCM e 100 anos de UFRJ fica uma lição que é fundamental para o sucesso de qualquer iniciativa. Pode-se resumir nessa afirmação:

Há um tempo para ficar à frente e um tempo para sair da frente.

Se em 1975, como alguns sugeriram, a COPPE tivesse assumido a continuidade do evento como se fosse uma iniciativa institucional da Universidade, já não haveria COBEM. Talvez não houvesse **ABCM**. Já com pouco mais de 50 anos, em 1975, a UFRJ com sabedoria, não aceitou a sugestão de continuar a organizar os COBEM para que ao completar 100 anos agora possa dizer, o COBEM começou aqui dando continuidade a iniciativa do prof. Stemmer. E a partir do COBEM, a **ABCM**.

Ao completar 100 anos a UFRJ gostaria de celebrar suas conquistas, corrigir suas falhas, e planejar um futuro alinhada com os novos desafios científicos e tecnológicos do mundo moderno. No entanto nos vemos diante de uma situação desastrosa que é a antítese das esperanças construídas ao longo dos últimos 50 anos.

Diante do avanço da revolução cultural que ameaça colocar os países em desenvolvimento subordinados culturalmente aos economicamente mais adiantados, em lugar de reforçar as nossas universidades e institutos de pesquisa e aplicar mais recursos nas atividades de P&D nos defrontamos com a situação

oposta de acelerado desinvestimento em ciência, tecnologia, pesquisa e educação. Estamos diante de uma morte anunciada que nos ameaça levar a uma situação muito pior do que a dominação industrial ampliada nos últimos 5 anos.

Então a celebração da interação entre **ABCM** e UFRJ nesses últimos quase 50 anos, tão bem sucedida, assume agora uma importância crítica na preservação das nossas conquistas. Devemos prioritariamente reforçar e expandir a união entre os pesquisadores e docentes nas nossas universidades e institutos de pesquisa para superar a tentativa de destruição em marcha e sustentar a nossa capacidade de pensar e criar independentemente e sem medo de ameaças internas e externas. Uma iniciativa que tem seus riscos, mas a única viável nesses tempos de obscurantismo intelectual como adverte Noam Chomsky em discurso recente:

*“Nos encontramos num momento de confluência de crises de extraordinária gravidade com o destino do experimento humano literalmente em risco.”*

Celebrar conquistas e preparar para novas lutas é este o momento de convergência que requer ainda maior união do que a original iniciada fazem quase 50 anos na caminhada comum UFRJ-ABCM.

## COBEM 2019

### “the best congress ever”

25<sup>th</sup> international congress of mechanical engineering

**Prof. Enio P. Bandarra Filho**  
Chair do Cobem 2019

**Prof. Daniel Dall'Onder dos Santos**  
Co-Chair do Cobem 2019

Inicialmente, seria interessante mencionar que foi uma honra organizar o maior congresso de Engenharia Mecânica da América Latina e o carro chefe da **ABCM**. A 25ª edição foi marcante em diversos aspectos, tendo como ponto de partida a realização da mesma durante a gestão do Prof. Valder Steffen Jr, ex-presidente da **ABCM**, como reitor da Universidade Federal de Uberlândia. É importante destacar os pontos positivos do COBEM 2019, tanto em termos científicos quanto em termos sociais. O evento ocorreu no Center Convention de Uberlândia, palco do COBEM 2001, também realizado pela UFU, sob a presidência do Prof. Valder Steffen Jr.



Já na cerimônia de abertura, no domingo, o COBEM 2019 surpreendeu a todos com um público presente de cerca de 600 pessoas, um recorde dos eventos da **ABCM**. A mesa diretora foi assim composta: Prof. Valder Steffen Jr., Reitor da Universidade Federal de Uberlândia; Thiago Gonçalves Paluma Rocha, representando a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação; Prof. Aldemir Aparecido Cavallini Junior, representando a Faculdade de Engenharia Mecânica da UFU; Prof. Enio Pedone Bandarra Filho, Chair do COBEM 2019; Prof. Daniel

Dall'Onder dos Santos, Co-chair do COBEM 2019; Prof. Gherhardt Ribatski, Presidente da **ABCM**; Prof. João Luiz Filgueiras de Azevedo, Presidente do CNPq; e Thiago Barral, Presidente da Empresa de Pesquisa Energética, representando o Ministério de Minas e Energia, e que proferiu a palestra de abertura, intitulada “Brazilian energy sector: Transformations and challenges ahead”. Logo em seguida, o público foi convidado ao primeiro evento social do COBEM 2019, o coquetel de abertura com música ao vivo.



Dada a magnitude do evento e sua abrangência de diversos tópicos das engenharias e ciências mecânicas, as apresentações orais ocorreram em sessões técnicas simultâneas, evitando-se, contudo, a sobreposição de assuntos afins. As sessões foram distribuídas da seguinte forma: 20 de Energia e Ciências Térmicas, 19 de Mecânica dos Fluidos e Reologia, 17 de Dinâmica, Controle, Vibrações e Acústica, 14 de Materiais e Engenharia de Manufatura, 13 de Engenharia Aeroespacial, 13 de Mecânica dos Sólidos, 9 de Mecatrônica e Automação, 6 de Bioengenharia, 6 de Combustão, 5 de Fenômenos Não lineares, 5 de Materiais Inteligentes, 4 de Fratura,

Fadiga e Integridade Estrutural, 4 de Refrigeração e Ar Condicionado, 3 de Engenharia de Petróleo, 2 de Educação em Engenharia, 2 de Quantificação de Incertezas e Modelagem Estocástica, 1 de Nano e Microfluídica, 1 de Engenharia de Produto, e uma sessão conjunta de Engenharia Nuclear e Tubulações e Vasos de Pressão, totalizando 145 sessões com uma média de público de 50 pessoas. As sessões técnicas iniciaram com uma *short keynote* de 40 minutos escolhida pelos coordenadores de sessão entre os artigos que obtiveram as melhores avaliações e comentários dos revisores.

Foram aceitos para apresentação oral 633 trabalhos, com um índice de não-comparecimento (*no-show*) de 8%; para apresentação em formato de pôster, 668 trabalhos foram aceitos, com um índice de não-comparecimento de 9%. Considerando o panorama econômico negativo do segundo semestre de 2019 no tocante ao contingenciamento de recursos por parte do Ministério da Educação e das agências de fomento, estes números podem ser considerados satisfatórios. No total, o COBEM 2019 teve cerca de 1200 inscritos, sendo 350 profissionais (30%), 700 estudantes de pós-graduação (58%) e 150 alunos de graduação (12%).

Outro ponto marcante do COBEM 2019 foi a homenagem a alguns professores e técnicos que deixaram sua significativa contribuição para a Engenharia e Ciências Mecânicas do país. Assim, as salas onde ocorreram as sessões técnicas tiveram seus nomes escolhidos de forma a homenagear esses baluartes que infelizmente não estão mais entre nós: Leonardo Goldstein Jr., Caspar Erich Stemmer, Cláudio Melo, Debi Pada Sadhu, Francisco Eduardo Mourão Saboya, Jandir da Cunha Neto, Márcio Melazo, Marcos Pinotti Barbosa, Orosimbo Andrade de Almeida Rego, Otávio de Mattos Silveiras, Ricardo Nicolau Koury. No hall do COBEM 2019, placas com as biografias foram expostas para que o público conhecesse um pouco da trajetória de cada um.

A sala principal, devido sua grande capacidade de público, foi palco das cerimônias de abertura e encerramento, e das seguintes *keynotes*: *Effect of oil in components and the entire vapor compression system on performance* (Predrag Pega Hrnjak - University of Illinois Urbana-Champaign); *The role of metrology in 4.0 Industry in the context of additive manufacturing process* (Charyar Mehdi-Souzani - University Paris XIII / École Normale Supérieure Paris-Saclay); *Development of in-situ measurement by contactless sensor for the improvement of manufactured surfaces* (Yann Quinsat - École Normale Supérieure Paris-Saclay); *Mesh-based, meshless and meshfree approaches in engineering* (Saullo G.P. Castro - Delft University

of Technology); *Very flexible aircraft: Performance promises and aeroelastic challenges* (Carlos E. S. Cesnik - University of Michigan); *3-D printed polymer high performance air-liquid heat exchangers* (Timothy A. Shedd - Florida Polytechnic University); *Numerical and mathematical models for nanofluids simulation: State of the art* (Mohammad Reza Safaei - Florida International University); *The AERMEC test-rigs for the investigations on turbine blade friction dampers* (Muzio M. Gola - Politecnico di Torino); *Experimental characterization of evaporating and condensing flows* (Arganthaël Berson - University of Wisconsin-Madison); *Will electric aircraft be quiet and viable?* (Rodney Self - University of Southampton); *Physics-informed neural networks: using hybrid models for engineering analysis* (Felipe A. C. Viana - University of Central Florida); *Digital transformation of machine elements: A dynamic, integrated, and sustainable approach inside Industry 4.0* (Ilmar Ferreira Santos - Technical University of Denmark); *Model based design of mechatronic systems* (Petter Krus - Linköping University). A sala principal também foi palco para painéis de discussão que abordaram temas como mobilidade urbana aérea, Indústria 4.0, projetos com a Marinha e Força Aérea americanas, além do evento Mulheres na Ciência.

A primeira hora da programação diária do evento foi dedicada à oferta de minicursos, cujo público-alvo principal foram os estudantes de graduação e pós-graduação. A audiência média foi de 60 pessoas e os seguintes temas foram abordados: Introdução às energias renováveis (José Roberto Simões Moreira - POLI|USP); Projeto conceitual de aeronaves híbridas-elétricas (Tiago Augusto Machado Guimarães - UFU); Análise modal utilizando Python (Saullo G. P. Castro - Delft University of Technology); e Metodologia científica: Uma nova visão (Leonardo Santos de Brito Alves - UFF).

Outro destaque do COBEM 2019 foi a realização do 1º Prêmio Prof. Leonardo Goldstein Jr. que é destinado a membros da comunidade científica por “suas contribuições para o desenvolvimento da engenharia e ciências mecânicas no Brasil, em termos de conquistas científicas e/ou tecnológicas, formação de recursos humanos, gestão científica, tecnológica e acadêmica, divulgação e popularização da ciência, e internacionalização da ciência brasileira”. Assim, o primeiro agraciado foi o Prof. Luiz Bevilacqua, escolhido pelo seu amplo, diversificado e duradouro legado em prol da ciência brasileira, legado este marcado por notório pioneirismo, do qual muitas gerações se beneficiaram e ainda virão a se beneficiar. Logo após a premiação, houve a realização do 2º evento social do COBEM 2019, o Happy Hour no Cajubá Country Clube em Uberlândia, onde cerca de



500 pessoas aderiram ao evento com música ao vivo e muita descontração.

Na terça-feira, às 18h, o COBEM 2019 realizou o evento Mulheres na Ciência, com a participação das seguintes painelistas: Maria Luíza S. Indrusiak (RNC), Polliana

Cândida O. Martins (UNB), Aline S. de Paula (UNB) e Marcia B. H. Mantelli (UFSC). A sala principal contou com um público presente de cerca de 250 pessoas.

Na quarta-feira, houve a realização da tradicional assembleia da **ABCM**, que contou com uma massiva



participação dos associados e, logo em seguida, houve a realização do jantar de confraternização do COBEM 2019 com marcante show musical. Novamente, houve um recorde de público com a adesão de cerca de 450 pessoas, o que proporcionou um ambiente muito descontraído e animado.

Em suma, o COBEM 2019, foi considerado um grande sucesso científico, social e econômico para a **ABCM**.

A expressiva participação de professores nessa edição foi outro ponto de destaque, o que motiva sobremaneira os estudantes de pós-graduação.

Finalmente, a Comissão Organizadora agradece à confiança da **ABCM** na Universidade Federal de Uberlândia pela organização do maior evento da associação e, também, à comunidade científica por ter feito desse evento o “*The best congress ever*”.

# engenharia mecânica: uma profissão (também) feminina

Maria Luiza Sperb Indrusiak > Consultora Independente | msperbindrusiak@gmail.com



Outubro de 2019, Uberlândia, mais um COBEM. Velhos parceiros, novos contatos, com muitas expectativas nos encontramos novamente para uma semana de grande agitação, palestras magistrais, apresentação de trabalhos inovadores e muita discussão sobre os rumos da engenharia e da pesquisa em engenharia e ciências mecânicas. Neste contexto, um dos eventos programados, o “*Women in Science in Mechanical Engineering*”, despertou tanta curiosidade entre os participantes, que, inicialmente programado para o público feminino, acabou, por sugestão das próprias mulheres participantes, sendo franqueado a todos. As palestrantes discorreram livremente sobre suas carreiras, motivações, percalços e sucessos. Algumas histórias provocaram boas risadas, mas todas despertaram muitas reminiscências na plateia. Ao final, todos queriam confraternizar, partilhar suas próprias experiências. Pediram mais, e a continuidade do movimento, que está em sintonia com as ações *Women in Science* em todo o mundo, foi prometida.

A partir desta experiência, passei a buscar mais informações sobre o tema. Quantas são as engenheiras mecânicas no Brasil? Como se distribuem entre indústria e academia? Quantas desistiram da profissão? Quais suas experiências pessoais? Responder a estas perguntas demandaria um censo nacional, mas alguns indicadores de acesso relativamente fácil podem nos dar uma boa estimativa.

No CONFEA (Conselho Federal de Engenharia e Agronomia), 4,8% dos profissionais registrados em Engenharia Mecânica são mulheres (incluindo outras denominações, como Industrial Mecânico, 5,24%), contra 71% em Engenharia de Alimentos, 39% em Engenharia Química, 21,4% em Engenharia Civil e 42,3% em Engenharia Ambiental. Apenas a Engenharia Elétrica tem uma representatividade feminina igualmente reduzida: 7,7%.

Quando iniciei o curso de Engenharia Mecânica, já sabia que teria poucas colegas, só não imaginava que seria apenas uma em um grupo de 80. Mas por que era assim e, passados 50 anos, por que continua sendo quase o mesmo?

Bossart et al., 2017, analisa o cenário norte-americano, onde apenas 12% dos concluintes dos cursos de engenharia mecânica são mulheres e boa parte destas abandonam a carreira em até cinco anos. A proporção de mulheres na ativa entre as diversas modalidades de engenharia é similar à brasileira. Segundo os autores, as mulheres preferem cursos de engenharia que elas percebem como mais engajados e com mais potencial de ajudar a resolver os

grandes problemas sociais e ambientais e fazer uma diferença positiva na vida das pessoas. Isto parece ser verdadeiro também se forem consideradas as outras áreas do conhecimento. Os dados estatísticos disponibilizados pelo CNPq sobre os currículos cadastrados na plataforma Lattes mostram que as mulheres doutoras são maioria nas Ciências Biológicas (57,4%), da Saúde (58,67%), Humanas (55,86%) e Linguagem, Letras e Artes (63,38%). Nas Ciências Exatas e da Terra elas são 32,19% e nas Engenharias, 24,94%, o pior índice entre todas as áreas. A excelente representatividade feminina nas Ciências da Saúde, de maneira especial, mostra esta tendência sublinhada por Bossart et al., 2017, de escolher carreiras que possam fazer a diferença na vida das pessoas, que possam agregar qualidade ao cuidar das pessoas, que possam gerar benefícios sociais da engenharia. Eu me arriscaria a dizer que é importante mostrar isto não só nas escolas, mas também para toda a sociedade. As pessoas precisam ter em mente que não adianta termos ciências médicas bem desenvolvidas se não tivermos engenheiros sanitaristas, civis, projetistas de equipamentos e instrumentos, químicos e tantos outros fazendo a sua parte. Também não adianta exigirmos preservação ambiental se não tivermos quem monitore o clima, as queimadas, desenvolva novas técnicas de manejo de campos de produção e florestas, e todas estas são atividades de ciências exatas e engenharia. Entendo que, para atrair e reter as mulheres nas carreiras de ciências, tecnologia, engenharia e matemática (*STEM - Science, Technology, Engineering and Math*), não basta ter um ambiente universitário e de trabalho mais receptivo às mulheres; é preciso maior receptividade ao jeito feminino de fazer ciência, que inclua mais “cuidado” social e ambiental. Para Smith e Gayles, 2018, espera-se das mulheres profissionais que se adaptem à cultura masculina de seus ambientes de trabalho. Este viés implícito na interação com os pares, segundo os autores, acaba fazendo com que as mulheres reduzam sua participação, em busca de uma situação mais confortável, seja migrando para outras áreas de atuação, seja ficando à sombra de seus colegas homens, seja desistindo completamente da profissão.

Para Ettinger et al., 2019, a expectativa, gerada pelas ações afirmativas e pelo *Equal Employment Opportunity Act*, em 1972, nos EUA, de que a presença feminina na engenharia se tornasse comum e perfeitamente normal, não se realizou, pois problemas como falta de apoio institucional nos períodos de maternidade, oportunidades desiguais no ambiente de trabalho e oferta de posições pouco

prestigiosas levaram muitas a abandonar a carreira. Como resultado, as mulheres que hoje optam pela carreira na engenharia continuam, de certa forma, a ser pioneiras, desbravadoras de um mercado de trabalho dominado pela retórica masculina. Isto é verdadeiro para o Brasil, ao menos no que se refere à Engenharia Mecânica. Quando troquei a atividade na indústria pela academia, me surpreendi pela baixíssima presença feminina nas turmas da mecânica, pois ingenuamente achava que, passados quase 30 anos daquele impacto inicial em minha vida de estudante universitária, teria havido uma grande evolução. No entanto, a maioria das alunas que tive nas aulas de máquinas de fluido, geração de energia, combustão etc., eram de cursos como Engenharia de Energia ou Ambiental, que, sem serem menos complexos e “áridos” (nas palavras dos alunos), aparentam ter, todavia, uma faceta mais agregadora de valor social e ambiental.

Hoh, 2007, descreve o estereótipo dominante do engenheiro e cientista de uma forma que lembra claramente o personagem Sheldon do seriado *Big Bang Theory*. É claro que as meninas não se identificam com este modelo e isto as afasta da área. E se o modelo fosse uma Hedy Lamarr, linda, hollywoodiana e, ainda melhor, real (Marasciulo, 2020)?

Lamarr é conhecida pela sua atuação em inúmeros filmes da época áurea de Hollywood, mas nem todos sabem que ela era muito inteligente - e engenhosa, embora não engenheira. Entre outras invenções, ela criou e patenteou, em 1940, a ideia de transmissão de sinais de rádio com variação da frequência da onda portadora, uma espécie de criptografia do sinal, que torna praticamente impossível sua interceptação. Seu objetivo, talvez por ser judia austríaca refugiada, era despistar os radares nazistas. À época, não foi dada a importância devida à proposta, mas hoje isto é a base dos sistemas wi-fi e CDMA. Ela é agora denominada Lady Bluetooth (<http://www.jmw.at/de/exhibitions/lady-bluetooth-hedy-lamarr>). Porque temos tão poucos relatos como este, de mulheres nas STEM?

Alice White, em 2018, pesquisou a representação das mulheres cientistas e engenheiras na Wikipedia, em inglês. Concluiu que, embora se saiba que há historicamente menos mulheres dedicadas a estas áreas, ainda assim elas estão subrepresentadas. Os verbetes são em geral de pior qualidade e não editados corretamente. Sabe-se o quanto a Wikipedia é acessada pelos estudantes e mesmo pelos professores do ensino médio. Melhor seria se as meninas encontrassem verbetes bem escritos contando a história das cientistas e engenheiras

brasileiras que se destacaram, ou simplesmente conseguiram se manter cientistas e engenheiras durante suas vidas; que, frente ao tradicional questionamento “Agora que tens filhos, vais deixar a engenharia?” responderam “Agora vou ser mãe e engenheira”.

Mas afinal, porque todo este interesse em aumentar a representatividade feminina nas carreiras STEM e, na presente discussão, na Engenharia Mecânica? Para Atamanchuk, 2019, em sua tese de mestrado, o objetivo da engenharia é proporcionar soluções inovadoras e inclusivas para todas as pessoas. No Canadá (delimitação do estudo da autora) apenas 10% dos engenheiros são mulheres. Em termos de representatividade da sociedade, quanto mais equilibrado for um grupo de trabalho ou pesquisa, mais chances haverá de os resultados terem valor para toda a sociedade. Além disso, é de conhecimento geral que grupos mais equilibrados podem ser mais criativos e gerar uma dinâmica de trabalho mais produtiva.

No início da minha vida profissional de engenheira, fui designada para avaliar um problema operacional em uma usina termelétrica. Ao chegar, mesmo portando credenciais, fui barrada no portão, pois as ordens eram: mulher não entra! A situação foi contornada, como muitas outras, mas esta história, da qual hoje acho graça, mostra as dificuldades daqueles tempos. Considero importante ressaltar que, desde a época em que os prédios dos cursos de engenharia mecânica e os ambientes industriais não contavam com banheiros femininos, ou até nem mesmo admitissem mulheres, até o presente, muita coisa já mudou, embora a “cultura da engenharia” (Atamanchuk, 2019) ainda seja muito marcada pelo masculino. Não se trata, portanto, apenas de incluir as mulheres, mudando banheiros ou portões de indústrias, mas de realmente absorver o potencial inovador do pensar e do agir com viés feminino.

Para avaliar como tem se dado a evolução da presença feminina em pesquisa nas engenharias, os dados extraídos dos currículos cadastrados na plataforma Lattes, por faixa etária, são muito esclarecedores. A figura 1 mostra o percentual de mulheres entre os doutores em engenharia. Embora os dados representem o quadro atual, pode-se fazer uma ilação temporal: o número de mulheres que abraçam a carreira de pesquisa em engenharia está, consistentemente, crescendo, embora ainda esteja distante dos desejáveis 50%. A redução que se observa para a faixa mais jovem merece muita atenção. Minha hipótese é que as mulheres completam a formação mais tarde por se dividirem entre a carreira e os filhos.

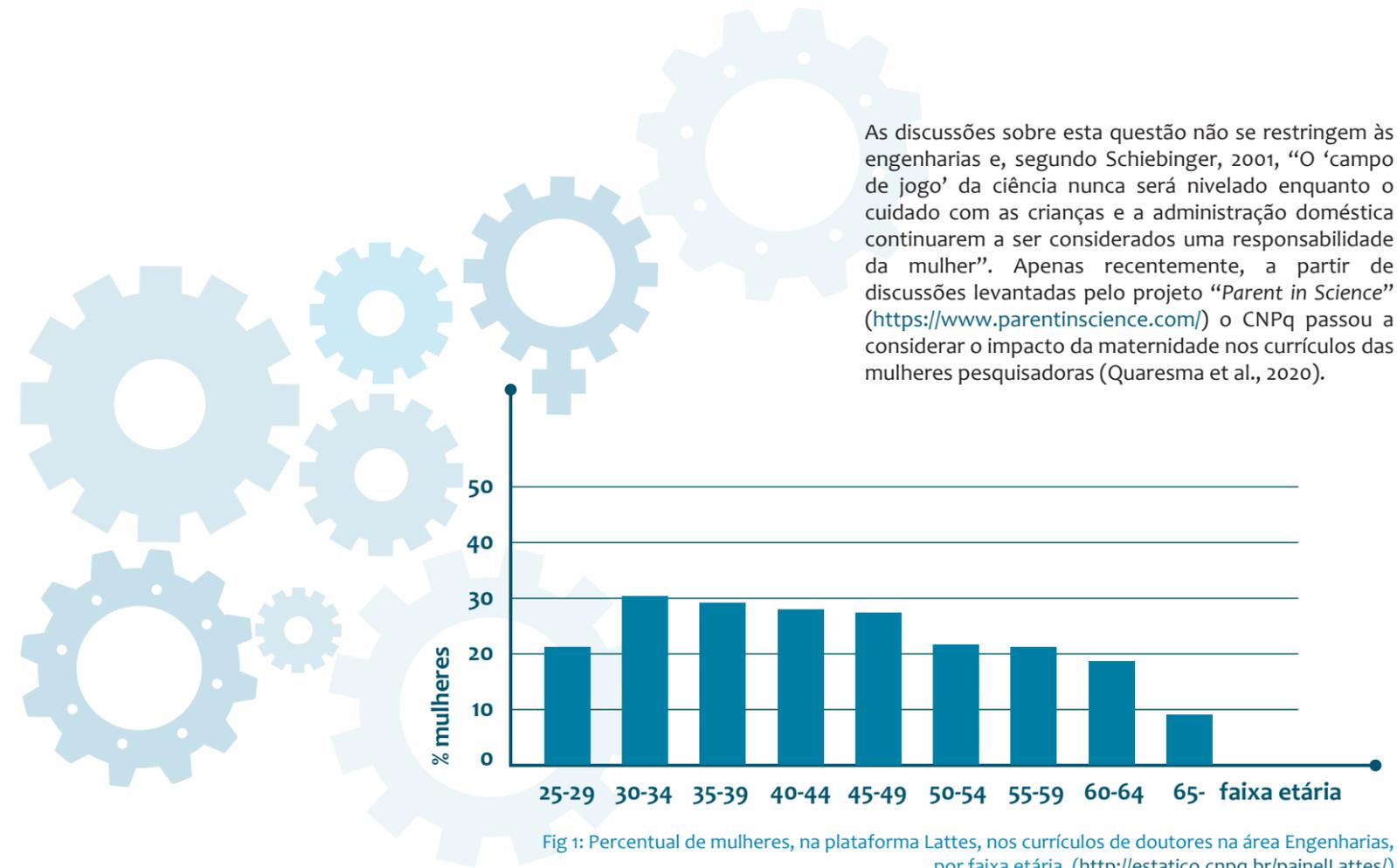


Fig 1: Percentual de mulheres, na plataforma Lattes, nos currículos de doutores na área Engenharias, por faixa etária. (<http://estatico.cnpq.br/painelLattes/>)

As discussões sobre esta questão não se restringem às engenharias e, segundo Schiebinger, 2001, “O ‘campo de jogo’ da ciência nunca será nivelado enquanto o cuidado com as crianças e a administração doméstica continuarem a ser considerados uma responsabilidade da mulher”. Apenas recentemente, a partir de discussões levantadas pelo projeto “Parent in Science” (<https://www.parentinscience.com/>) o CNPq passou a considerar o impacto da maternidade nos currículos das mulheres pesquisadoras (Quaresma et al., 2020).

Na Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, **ABCM**, 11,3% dos associados são mulheres. A comparação com os 5,24% de mulheres entre os engenheiros mecânicos registradas no CONFEA mostra que a carreira acadêmica é aparentemente mais apreciada pelas mulheres do que a atividade como engenheira mecânica, possivelmente porque a pesquisa e a docência têm maior potencial de agregar qualidade à sociedade e à vida das pessoas.

No entanto, o percentual de mulheres na plataforma Lattes é de 24,94% do total de doutores na área Engenharias. Estaria a pós-graduação sendo menos procurada pelas engenheiras mecânicas do que pelas engenheiras de outras modalidades? Ou o quadro de sócios da **ABCM** não está representando adequadamente o espaço da pesquisa em Engenharia Mecânica no Brasil?

Os dados apresentados aqui são confiáveis, mas pouco detalhados, permitindo apenas esboçar hipóteses de trabalho. No entanto, entendo que estas questões merecem mais atenção, pois podem estar representando um desperdício de talento e de oportunidades, o que, em qualquer situação, é grave

em um país na condição de subdesenvolvimento intelectual e tecnológico como o nosso.

Finalizo contando o que ocorreu nos meus primeiros anos de docência, num período natalino de um ano em que, por conta de alguma greve, estávamos ainda com aulas nas universidades federais. Foi montada uma árvore de natal na entrada do prédio, onde os alunos passaram a colocar cartinhas para o “Papai Noel”. “Faça-me passar em cálculo”, ou resistência dos materiais, era o que mais se via. Mas encontrei uma que dizia: “Por favor, Papai Noel, ilumine a cabeça das meninas para que elas queiram fazer Engenharia Mecânica”. Pois, passadas duas décadas, Papai Noel continua em dívida.

O que eu pretendi apresentar neste artigo, embalado pelas reminiscências, é apenas uma ínfima parte do que já foi dito sobre a questão das mulheres em STEM, mas espero que possa levar à reflexão e à ação para mudar esta realidade, o que trará amplos benefícios. De antemão, estão todos e todas convidados para o segundo encontro *Women in Science in Mechanical Engineering*, no COBEM2021, em Florianópolis.

## Referências

Bossart, J.; Bhari, N. Women in Engineering: Insight into why some Engineering Departments have more success in recruiting and graduating women. *American Journal of Engineering Education*. v. 8 n. 2 p. 127-140, 2017. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1162927>. Acessado em 11/09/2020.

Ettinger, L.; Conroy, N.; Barr II, W. What Late-Career and Retired Women Engineers Tell Us: Gender Challenges in Historical Context, *Engineering Studies*, 2009. DOI: 10.1080/19378629.2019.1663201.

Smith, K. N. e Gayles, J. G. "Girl Power": Gendered Academic and Workplace. Experiences of College Women in Engineering. *Social Sciences*, v. 7, n. 11, 2018. DOI: 10.3390/socsci7010011.

Marasciulo, M. Hedy Lamarr, a "mãe do Wi-fi" que fugiu do nazismo para virar inventora e estrela em Hollywood, *BBC NEWS*, 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-54017008>. Acessado em 09/09/2020.

White, A. The history of women in engineering on Wikipedia. *Science Museum Group Journal*, V.10, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15180/181008>.

Hoh, Y. K. Outstanding women in mechanical engineering. *International Journal of Mechanical Engineering Education* V. 35, n. 3, p. 198-206, 2007. DOI: <https://doi.org/10.7227/IJMEE.35.3.4>.

Atamanchuk, K. Understanding Career Persistence of Women in Engineering in Manitoba: A Phenomenological Study of Former Practicing Members and Graduates Never Registered. Tese de Mestrado, Department of Biosystems Engineering, University of Manitoba. 2019. Disponível em: <https://mspace.lib.umanitoba.ca/handle/1993/34465>. Acessado em 08/02/2020.

Quaresma, F.; Nucci, M. F.; Russo, J. A. Maternidade, gênero e ciência: reflexões e tensionamentos, 2020. Disponível em: <https://www.ims.uerj.br/2020/03/05/maternidade-genero-e-ciencia-reflexoes-e-tensionamentos/>. Acessado em: 09/09/2020.

Schiebinger, L, O Feminismo mudou a Ciência? (Tradução de Raul Fiker), Bauru, SP: EDUSC 2001, 384 p. Disponível para download em: [https://www.academia.edu/7185333/SCHIEBINGER\\_Londa\\_O\\_Feminismo\\_Mudou\\_a\\_Ci%C3%AAncia](https://www.academia.edu/7185333/SCHIEBINGER_Londa_O_Feminismo_Mudou_a_Ci%C3%AAncia). Acessado em 9/9/2020.

# histórico e breves comentários sobre energia solar no brasil

Sérgio Colle > Universidade Federal de Santa Catarina



## Resumo histórico da energia solar no Brasil

A crise do petróleo ocorrida em 1973 ocasionou uma corrente de iniciativas para reduzir a dependência dos países ocidentais dos detentores mundiais desse insumo energético. Uma das vertentes mais consistentes na área das energias renováveis foi levada a efeito nos EUA, Alemanha, Israel, Austrália e países de menor peso, a fim de apoiar iniciativas voltadas ao desenvolvimento da energia solar, com o objetivo de reduzir o consumo de combustíveis fósseis por essa modalidade de energia, em diferentes escalas de aplicações e setores.

Em consequência de efetivas políticas de fomento adotadas por governos desses países, várias universidades e institutos de pesquisa voltaram sua atenção para o desenvolvimento de tecnologias de aquecedores solares para uso doméstico, de centrais de geração termossolares e fotovoltaicas. No tocante a tecnologias de produção de calor, destacaram-se os coletores solares planos, de tubo-vácuo, de termossifão de duas fases, concentradores cilíndricos parabólicos (CCP) e torres solares, esses dois últimos voltados a geração termoelétrica.

Em consequência da referida crise, o Ministro das Minas e Energia, Eng. César Cals de Oliveira Filho (1979 - 1985) implementou no Brasil uma política de fomento orientada para promover o desenvolvimento de tecnologias de aquecimento solar para uso doméstico, agroindustrial e refrigeração. O pouco que se produziu de pesquisa relevante para o setor, pode ser verificado através de publicações a partir de 1985 e décadas subsequentes, no periódico *Solar Energy Journal*. Nesse contexto, o apoio da FAPESP a projetos de pesquisa, sobretudo na UNICAMP, ocasionou o domínio da tecnologia de células de silício monocristalino e policristalino, levada a efeito no Departamento de Física. Nesse tempo, pesquisas desenvolvidas no Departamento de Engenharia Mecânica da referida Universidade, resultaram até mesmo em uma unidade de fabricação de coletores planos de alumínio extrudado, a época uma tecnologia promissora.

Entretanto, a indiferença de governantes subsequentes aos governos militares em efetivamente apoiar o desenvolvimento da energia solar, resultou numa drástica redução de pesquisa nesta área e na interrupção de projetos, os quais se continuados, poderiam ter levado o Brasil a ser um dos competidores mundiais em tecnologia de energia solar. Por conseguinte, em maior ou menor grau,

poucas universidades continuaram suas atividades de pesquisa, a saber, UFPE, UFPB - Campina Grande, UFRGS, USP, COPPE|UFRJ, PUC-RJ, PUC-RS, UFPa, UNISINOS, UFSC e UNICAMP, graças a esporádico suporte de fundações estaduais de apoio a pesquisa, CNPq e CAPES. Algumas universidades foram beneficiadas com recursos e pessoal para cooperação técnica no contexto de convênios internacionais celebrados com a Alemanha, junto a Secretaria de Cooperação Internacional do CNPq, dentre as quais a UFSC.

### Deficiência histórica de dados de radiação solar incidente no território nacional

O desenvolvimento de atividades de pesquisa nacionais, entretanto, não foi acompanhado pelo desenvolvimento ou mesmo a transferência de tecnologias inovadoras voltadas a determinação de radiação solar incidente na superfície terrestre. Até 1986, a única base de dados solares adotada como referência era o Atlas de Radiação Solar da OLADE - Organização Latino-americana de Energia, construído com base em dados de horas de brilho solar e de actinógrafos, com os quais se validou a correlação linear de Angström. Tal base, como foi comprovado pelo autor deste artigo, ocasiona desvios de até 28% na média mensal na região amazônica e até mesmo no Vale do Itajaí em Santa Catarina. Esses desvios foram constatados através da comparação desses dados com dados gerados por modelo físico baseado em satélites geoestacionários. Nesse tempo, o INMET dispunha de não mais que uma dúzia de estações de medição de radiação com piranômetros Hobeco, instalados à época do Presidente Ernesto Geisel e que, por deficiência de manutenção e mesmo abandono, foram gradativamente desativadas. Modelos físicos, baseados em dados de radiômetros de satélites orbitais, foram objeto de pesquisa no CPTEC|INPE por geofísicos proeminentes desta instituição, os quais reportaram a validação estatística de um modelo para determinação da radiação solar incidente no território brasileiro. Esse modelo apresentou deficiências pela razão de ter sido validado contra dados de actinógrafos, instrumentos de confiabilidade inferior aos piranômetros. Em 1988 foi publicado pela UFPE um atlas de radiação solar para o Brasil. Entretanto, esse atlas careceu de validação contra dados coletados de superfície através de estações qualificadas e, por essa razão, não foi considerado um atlas definitivamente confiável.

Em 1990, à convite do Prof. Dr. Ehrhard Raschke, diretor do IGMK (*Institut für Geophysik und Meteorologie*) da Universidade de Colônia - Alemanha, este autor visitou esta instituição com o objetivo de estudar o modelo físico IGMK formulado para a determinação da radiação solar, baseado em dados coletados por radiômetros espectrais do satélite METEOSAT, então localizado na costa oeste do continente africano.

Desta iniciativa resultou a transferência do *software* afim e arquivos de dados deste satélite ao então LABSOLAR|UFSC (presentemente LEPTEN), que cobria mais da metade do território brasileiro. Um projeto de cooperação internacional foi celebrado no âmbito da então Secretaria de Cooperação Internacional do CNPq, no contexto do qual o geofísico do CPTEC|INPE, Dr. Enio Bueno Pereira, foi contratado como pesquisador visitante pelo CNPq, lotado no referido laboratório, por um período de três anos, durante os quais em estreita colaboração com seus parceiros alemães do IGMK, adaptou o modelo físico para a situação brasileira, desta vez baseado em dados do satélite GOES-8, então cobrindo o território nacional. Os resultados dessa pesquisa foram condensados num atlas e base de dados respectiva, publicado em 1998, sob os auspícios do INMET. Esse atlas foi considerado como a primeira versão do Atlas de Radiação Solar do Brasil e reconhecido como referência pelos colaboradores do IGMK e grande parte da comunidade científica atuante na área de energia solar. Uma extensão desse trabalho para o Chile propiciou a PUC chilena o desenvolvimento de um atlas de qualidade equivalente para este país.

O sucesso dessa pesquisa deveu-se ao fomento do BMFT - Ministério de Ciência e Tecnologia da Alemanha, tendo como braço operacional o KFA - Jülich. Nesse contexto, sete estações solarimétricas foram doadas ao LABSOLAR pelo governo alemão, que foram instaladas em Santa Catarina, uma das quais presentemente se constitui numa estação de referência integrada a rede mundial BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*). A referida rede é operacional desde 1992, a serviço da comunidade científica voltada a estudos de mudanças climáticas de longo prazo.

A iniciativa de que resultou o atlas e base de dados referidos constituiu-se no embrião de outros projetos levados a cabo pelo CPTEC|INPE, em parceria com o LABSOLAR, tais como o projeto SONDA - Sistema Nacional de Organização de Dados Ambientais [1,2] para o Setor de Energia e o projeto SWERA - *Solar Wind Energy Resource Assessment* [3], financiado pela UNEP - Organização das Nações Unidas, em

parceria com o NREL-EUA, TERI - Índia e China, DLR - Alemanha, RISO-Dinamarca e SUNY-EUA.

Destaca-se nesse contexto, projeto desenvolvido pelo CPTEC|INPE, voltado ao aperfeiçoamento do modelo físico BRASIL-SR, este derivado do modelo IGMK, validado contra dados de superfície coletados em cerca de 500 estações solarimétricas do INMET, incluindo-se estações da rede SONDA. Essa robusta validação foi realizada graças ao efetivo apoio do CENPES|PETROBRAS, no contexto de um programa dessa empresa orientado a energia solar. A referida base de dados do INPE oferece dados totalizados na base horária e fração, da radiação global, direta e difusa, suas estatísticas de variabilidade e correlações respectivas contra dados medidos nas redes SONDA e INMET. Essa base é presentemente referência nacional de dados qualificados, a qual tem servido para subsidiar projetos e cenários de energia solar, levados a efeito por empresas, investidores e instituições de pesquisa do Brasil e do exterior e em particular, para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE). O atlas referido comprova sobremaneira, que o Brasil é contemplado por um dos mais virtuosos ciclos de insolação do mundo, mesmo nas regiões de elevada precipitação, tal como a Amazônia. Não menos importante é o fato de que o referido atlas também disponibiliza dados de radiação PAR, estes indispensáveis para subsidiar estudos e estimativas de crescimento da biomassa.

### Fomento à pesquisa de energia solar

Durante o governo FHC e subsequentes, praticamente nenhuma política consistente foi formulada para apoio a atividades de pesquisa no Brasil e menos ainda no tocante a área de energia solar. Esse descaso governamental foi a causa da desmobilização de laboratórios orientados para a energia solar, da dispersão de pessoal capacitado e virtual redução das atividades de pesquisa na referida área. Nesse mesmo período, países tais como, EUA, Alemanha, Israel, Austrália e China (a partir de 1989) e Índia, deram continuidade e suas políticas de apoio à pesquisa, o que presentemente explica o fato de as tecnologias inovadoras e a detenção da propriedade intelectual advirem desses países. De tempos em tempos, entretanto, o CNPq contemplou projetos pontuais, cujos resultados não alcançaram maturação tecnológica necessária para comercialização e até mesmo para agregação de autoria científica inovadora. Mesmo assim, a comprovada abundância de recurso solar do Brasil motivou inúmeras empresas a sustentarem a produção e comercialização de aquecedores solares

domésticos de custos relativamente baixos. Essas iniciativas foram a causa da penetração da energia solar no setor doméstico brasileiro, fato que alçou o país a uma notável posição mundial no tocante a área de coletores instalados. Nesse contexto, estudos levados a efeito pelo LEPTEN, em nível de mestrado e doutorado, demonstraram que tais sistemas são efetivos e economicamente vantajosos, no tocante a substituição de energia elétrica para aquecimento de água por energia solar, além do que também efetivos em relação à eficiência da energia elétrica auxiliar de aquecimento. Entretanto, os produtos genuinamente brasileiros são essencialmente baseados em concepções de sistema originalmente inventados nos EUA, entre as décadas de 20 e 50, cujas variantes e supostas inovações são ainda decorrentes de tecnologias desenvolvidas nos EUA, Alemanha e China. A propósito da China, a partir de 1990 os chineses levaram a efeito um robusto programa de pesquisa e desenvolvimento de produtos e sistemas altamente eficientes, com tecnologias de tubo-vácuo e termossifões de duas fases, sendo que a primeira vem deslocando progressivamente os produtos nacionais do mercado, devido a sua maior eficiência, durabilidade, confiabilidade e custo. Faz-se mister observar que esse desenvolvimento foi consequência de políticas voltadas ao desenvolvimento tecnológico, estabelecidas pelo governo chinês, induzidas pela Academia Chinesa de Ciências, organismo operacional de planejamento de políticas científicas e tecnológicas daquele país. Diga-se de passagem que esse expediente não foi adotado pelos governos brasileiros nos últimos 30 anos.

Cabe aqui registrar, entretanto, que o CENPES|PETROBRAS foi e é ainda um ativo agente de apoio a projetos pesquisa de energia solar no Brasil, na ótica da inovação e formação de recursos humanos qualificados, em nível de mestrado e doutorado, particularmente na especialidade de calor de processo e geração termossolar, tal como comprovado pelas publicações em periódicos afins [4–6].

### Calor de processo e potência termossolar

Na opinião deste autor, a mais significativa e promissora áreas para pesquisa em energia solar no Brasil é voltada a produção de calor para processos térmicos de baixa e média temperaturas [7], e em menor grau, a geração de potência termossolar e geração fotovoltaica, nas modalidades distribuída e centralizada [8]. A produção de calor de processo, para temperaturas entre 80°C e 250°C, requer coletores solares de tubo vácuo, coletores Fresnel ou coletores CCP de pequeno porte. Tal modalidade,

entretanto, requer complementação (*backup*), através de meios convencionais de produção de calor, baseados nos insumos lenha, petróleo, gás ou resíduos industriais de baixo impacto ambiental. A geração de potência, por outro lado, demanda investimentos relativamente elevados em coletores solares do tipo CCP, torre solar e até mesmo do tipo Fresnel. Recorde-se que quanto mais elevada é a temperatura da fonte de geração de calor, mais elevado é o rendimento termodinâmico do ciclo de geração termossolar. Entretanto, quanto mais elevada é a temperatura, maior é o custo do campo solar afim.

A geração fotovoltaica, diferentemente das modalidades já descritas, advém de tecnologias e produtos estrangeiros disponíveis para comercialização no mercado mundial, incluindo-se software para gerenciamento de plantas e otimização, capazes de integrar inteligentemente o sistema à rede de distribuição do SIN (Sistema Interligado Nacional). Entretanto, o custo por Wp (*Whatt-pico*) de painéis é ainda elevado, de modo que a atratividade da modalidade PV depende de subsídios por parte dos investidores e das próprias concessionárias de energia elétrica. A inserção dessa modalidade no Brasil tem sido dificultada por parte das concessionárias, as quais vêm impondo tarifas que oneram o consumidor-investidor, além do que, a redução de subsídios. As empresas de maior porte nesse setor vêm revisando suas políticas de investimento, antevendo um cenário desfavorável a geração PV centralizada e em menor peso, a geração distribuída. A temática de geração fotovoltaica e sua inserção no SIN é objeto de estudos no âmbito da EPE, ANEEL e ANE - Academia Nacional de Engenharia, a qual estabeleceu um grupo de trabalho para estudar os fatores de penetração da energia fotovoltaica no SIN [9].

Em se tratando de geração termoelétrica, muito embora alguns países, tais como, EUA, Espanha, Austrália e Índia, há alguns anos vêm monitorando o desempenho de grandes centrais térmicas CCP e de torre, no Brasil essas modalidades de geração são ainda objetos de estudos, no tocante ao desempenho e análise de custos. Neste particular, também se pode afirmar que o CENPES|PETROBRAS é o ator de maior impacto e investimento em pesquisa, cujos resultados podem ser verificados nas referências [4–6]. Muito embora pesquisadores brasileiros tenham demonstrado capacidade e talento ao nível de seus pares no exterior, nenhum projeto nacional resultou na implementação de uma planta de geração de potência. Por outro lado, os estudos referenciados têm demonstrado que mesmo em locais da região nordeste de maior isolamento e potencial para essa

modalidade geração, a tecnologia de torre solar é tecnicamente inviável, pela razão de que a variabilidade decorrente de nuvens provoca fortes variações de temperatura do receptor da torre, fator este que resulta em estresse térmico na estrutura, o qual ocasiona riscos de avaria e consequente interrupção da operação. Mesmo considerando-se backup com reservatórios térmicos, esse risco pode subsistir. Uma vertente tecnológica importante a fim de reduzir esse fator de risco é a adoção de sistema de reação química reversível do par  $\text{CaCO}_3$ -  $\text{CaO}$  e outros pares de reagentes, a integrar a própria torre. A opção de geração com CCP, em particular, não é eficiente devida a baixa temperatura de produção de calor e ao alto custo do campo solar.

Um dos objetivos de pesquisa de projetos apoiados pela PETROBRAS, sobretudo no LEPTEN, são os ciclos de potência termossolar com  $\text{CO}_2$ . Essa vertente, em desenvolvimento nos EUA, China e Alemanha é promissora, sobretudo para ciclos Brayton, que operam em altas temperaturas e, portanto, alta eficiência, os quais podem ser conjugados a centrais de concentração solar [10,11]. Plantas de demonstração desse ciclo vêm sendo testada nos EUA. Turbinas especialmente projetadas para fluido  $\text{CO}_2$  já estão comercialmente disponíveis nesse país.

No tocante a calor de processo, estudos vêm sendo realizados também no Brasil a exemplo das referências [6,12]. Calor de processo, como já foi observado, demanda por backup, devido ao fato de as aplicações requererem fornecimento estável de calor. A propósito, a conjugação de sistemas solares com back-up de biomassa é objeto de estudos correntes focados em análise econômica de sistemas para geração termoelétrica [13]. Entretanto, tal análise é limitada ao semi-árido brasileiro. Nesse particular, sendo o Brasil o país que exhibe a maior robustez do mundo na oferta de variedades de biomassa, terras agricultáveis de baixo impacto ambiental e ciclos de radiação solar e hidrológico complementares em todo o território nacional, a energia solar deveria ser compreendida também como fator de produção de biomassa. Um estudo nesse sentido que demonstra ser a lenha, no caso particular o eucalipto, fortemente competitiva com a energia solar térmica, é reportado em [14]. Nesse trabalho, uma teoria matemática com foco na formulação do desempenho de um virtual coletor solar conversor de biomassa foi formulada, com a finalidade de se determinar a área ótima de plantio, versus a área ótima de coletor térmico, adotando-se como função-objetivo o ganho financeiro durante a vida útil da planta (LCS). Tal estudo nos sugere uma vertente de pesquisa que poderá contribuir para a penetração

no Brasil de tecnologias de geração de calor solar conjugadas a biomassa. Devem-se considerar nesse contexto, que os custos agregados à produção da biomassa, quais sejam, da variedade, do solo, do manejo, do processamento e do frete para transporte desse insumo até o local de unidade de produção de calor, são fatores a ponderar na determinação da área de plantio, a competir com fatores de custo dos coletores térmicos. Essa vertente, na opinião desse autor, poderia se traduzir num novo paradigma da energia solar no Brasil, a exemplo do que foi e é a inserção do etanol no mercado brasileiro, cujas tecnologias de produção, diga-se de passagem, são inteiramente nacionais.

### Penetração da energia solar para aquecimento de água doméstica e geração PV

No tocante a energia solar para o aquecimento de água no setor doméstico, em 2018 o Brasil alcançou posição de destaque logo atrás da China, Turquia e Índia, com 875 MW térmico instalados, de sistemas com coletores com e sem cobertura, esses últimos voltados ao aquecimento de piscinas domésticas. Nesse ano registrou-se um crescimento de 6% em relação ao ano anterior. Por esse tempo já haviam sido instalados 384.232 sistemas de aquecimento solar para aquecimento de água doméstico, sobretudo no setor de casas populares. Em termos de potência térmica (MWt) acumulada, o Brasil presentemente alcança a quinta posição com 11.258 MWt de potência instalada, na sequência dos países, Alemanha (13.877 MWt), Turquia (17.596 MWt), USA (17.935 MWt) e China (33.7816 MWt), sendo que nesse último, o governo participou fortemente no mercado com subsídios e financiamento público. Entretanto, o Brasil figura numa ainda modesta trigésima posição em termos da potência instalada por habitante, da ordem de 33,80 kWt/1000 hab em relação a coletores solares com cobertura [7].

Em relação a calor de processo para aplicações industriais, em 2020 foram contabilizados no mundo mais de 800 sistemas de aquecimento, totalizando mais de 1 milhão de metros quadrados de coletores [7]. Muito embora esse número seja muito pequeno em relação a área de coletores solares respectivo ao setor doméstico, ele nos demonstra o interesse crescente do setor industrial em reduzir o consumo de combustíveis fósseis através da energia solar. Tais sistemas empregam coletores solares planos, de tubo vácuo, CCP e Fresnel, para geração de calor com temperaturas variando entre 80°C e 400°C. Em [15] reporta-se que sistemas de aquecimento solar

destinados à geração de calor são economicamente viáveis em muitos setores industriais em substituição ao diesel. Reporta-se também que esses sistemas são competitivos em relação ao GLP para regiões com alto índice de irradiação solar.

Em relação à geração fotovoltaica, o país contabiliza ainda uma modesta posição, com 2.847 MWp instalados o que corresponde a 1,96 % do total de potência da matriz elétrica brasileira. Nesse particular, o Brasil posiciona-se na vigésima primeira posição em relação a países tais como China (204.700 MWp), EUA (75.900 MWp), Japão (63.000 MWp), Alemanha (49.200MWp), mais outros países e finalmente Tailândia (2.982MWp) [16].

## Agradecimento

O autor externa seu agradecimento ao doutor Allan R. Starke, pesquisador do LEPTEN por seu providencial apoio no tocante a prospecção bibliográfica sobre geração termossolar e fotovoltaica.

## Referências Bibliográficas

[1] T.C. MARTINS, F. R., GUARNIERI R. A., CHAGAS R. C., NETO S. L. M., PEREIRA E. B., ANDRADE E., Projeto Sonda – Rede Nacional De Estações Para Coleta De Dados Meteorológicos Aplicados Ao Setor De Energia, in: Congr. Bras. Energ. Sol. - CBENS I, 2007: p. 9. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2007000800007>.

[2] INPE, SONDA Network, (n.d.). <http://sonda.ccst.inpe.br/> (accessed October 26, 2017).

[3] SWERA, Solar and Wind Energy Resource Assessment, (2013). <http://en.openei.org/wiki/SWERA/Data> (accessed January 1, 2015).

[4] A.R. Starke, J.M. Cardemil, R. Escobar, S. Colle, Multi-objective optimization of hybrid CSP+PV system using genetic algorithm, Energy. (2018). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.116>.

[5] J.M. Cardemil, A.R. Starke, S. Colle, Multi-objective optimization for reducing the auxiliary electric energy peak in low cost solar domestic hot-water heating systems in Brazil, Sol. Energy. 163 (2018) 486–496. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.01.008>.

[6] L.F.L. Lemos, L. Werner, T.T.C. de Souza, A.R. Starke, R.D. Machado, S. Colle, Solar Heat in the Brazilian Dairy Industry: A Preliminary Economic Assessment, in: Proc. ISES Sol. World Congr. 2019, International Solar Energy Society, Freiburg, Germany, 2019: pp. 1–11. <https://doi.org/10.18086/swc.2019.12.08>.

[org/10.18086/swc.2019.12.08](https://doi.org/10.18086/swc.2019.12.08).

[7] W. Weiss, M. Spörk-Dür, Solar Heat Worldwide. Global Market Development and Trends in 2019, Leobersdorf, Austria, 2020. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

[8] International Renewable Energy Agency - IRENA, Future of solar photovoltaic:Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects, 2019. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA\\_Future\\_of\\_wind\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf).

[9] N. Martins, A.L. Diniz, J.G.C. Barros, A Grid of Microgrids: Is it the Right Answer? [Point of View], Proc. IEEE. 108 (2020) 231–237. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2019.2963604>.

[10] L.A. de Araujo Passos, S.L. de Abreu, A.K. da Silva, A short- and long-term demand based analysis of a CO2 concentrated solar power system with backup heating, Appl. Therm. Eng. 160 (2019) 114003. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114003>.

[11] L.A. de Araujo Passos, S.L. de Abreu, A.K. da Silva, Time-dependent behavior of a recompression cycle with direct CO2 heating through a parabolic collector array, Appl. Therm. Eng. 140 (2018) 593–603. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.116>.

[12] L.F.L. Lemos, Energia solar térmica integrada a uma plataforma de simulação de uma estação de processamento primário de petróleo, Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

[13] R. Soria, J. Portugal-Pereira, A. Szklo, R. Milani, R. Schaeffer, Hybrid concentrated solar power (CSP)-biomass plants in a semiarid region: A strategy for CSP deployment in Brazil, Energy Policy. 86 (2015) 57–72. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.06.028>.

[14] S.F.H. de Souza Filho, Otimização termoeconômica de sistema de aquecimento solar auxiliado por energia de biomassa para atendimento de calor de processo industrial, Universidade Federal de Santa Catarina Curso, 2018.

[15] Solar Payback, Energia Termossolar Para a Indústria - Brasil, (2018) 68. [https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user\\_upload/national\\_process\\_heat\\_mex\\_spb.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/national_process_heat_mex_spb.pdf).

[16] IRENA, Renewable Capacity Statistics 2020, 2020. [https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2020.pdf](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf).

# avanços e perspectivas na geração elétrica nuclear submarina

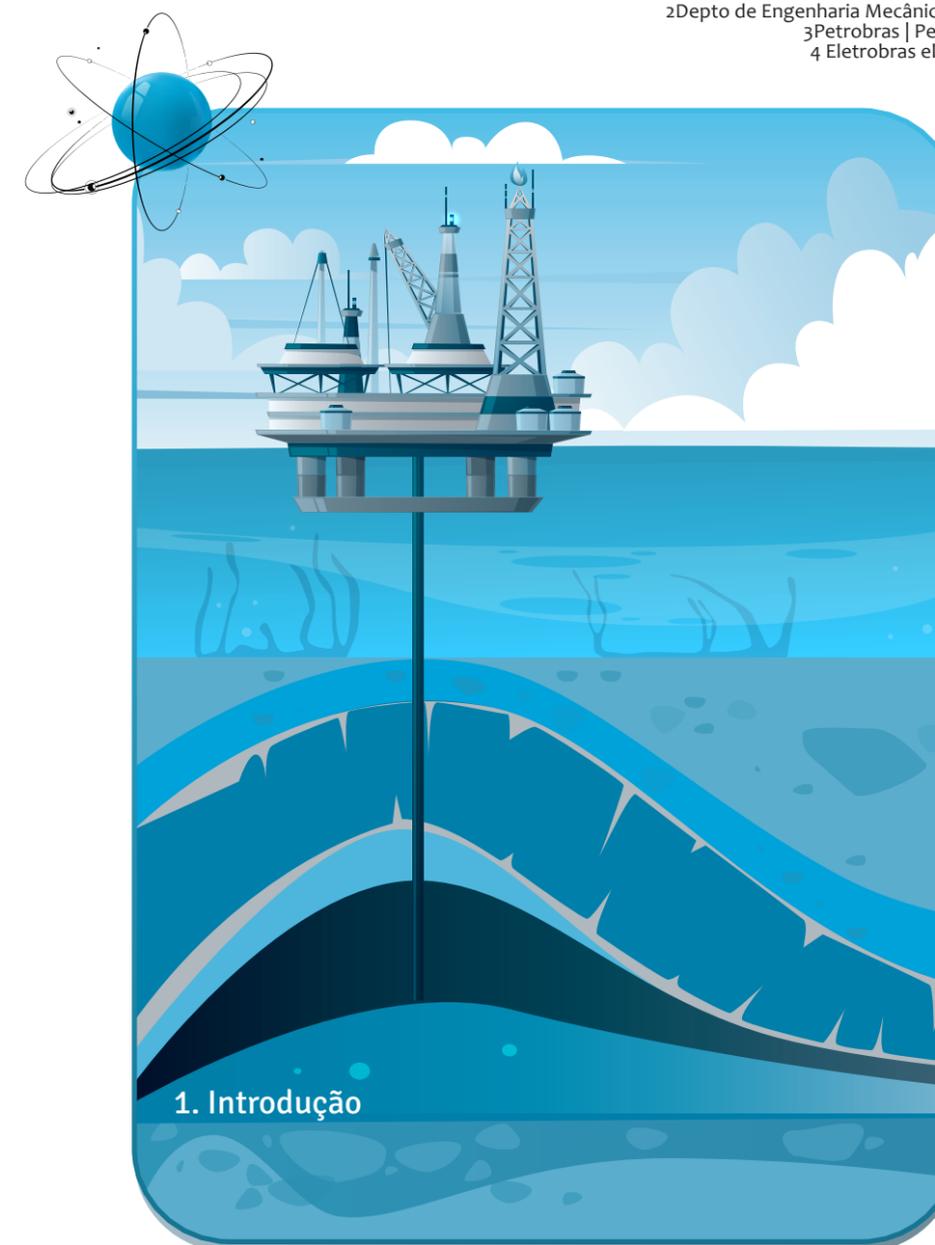
Renato M. Cotta 1,2 | Sílvia Maria C. Anjos 3 | Fábio M. Passarelli 3 | Leonam S. Guimarães 4

1Diretoria Geral de Desenv. Nuclear e Tecnológico da Marinha DGDNTM | Marinha do Brasil e AMAZUL Tecnologias de Defesa S.A.

2Depto de Engenharia Mecânica | POLI & COPPE | UFRJ

3Petrobras | Petróleo Brasileiro wvS.A.

4 Eletrobras eletronuclear | Presidente



Os oceanos cobrem cerca de 70% da superfície do nosso planeta, mas não exploramos, observamos ou mapeamos nem mesmo 20% desse imenso território. A ideia de explorar os recursos minerais do fundo dos oceanos vem sendo discutida desde os anos 60. A exploração de petróleo e gás em águas ultra-

profundas (>2.000 metros) é uma realidade na qual o Brasil, por meio da Petrobras, é pioneiro e líder mundial. Com o aumento e diversificação dessa atividade, surge a oportunidade de se acoplar a geração de eletricidade *in-situ*, para viabilizar a redução de custos e incrementar a produção de petróleo.

Este artigo visa a fomentar a discussão sobre o potencial de geração de energia núcleo-elétrica para aplicação submarina, por exemplo, visando à exploração e produção de petróleo e gás no Pré-Sal brasileiro, a partir de sistemas submarinos de processamento, que incluem separação e re-injeção do gás produzido separado, rico em CO<sub>2</sub>, ao reservatório, a partir do fundo do mar, para aumento da produção de óleo. Essa solução pode ser especialmente interessante para viabilizar campos do pré-sal com elevada Razão Gás-Oleo (RGO) e elevadas concentrações de contaminantes distantes de locações já em desenvolvimento, onde uma fonte de energia autônoma seria viabilizadora de sistemas de produção. Adicionalmente, esta fonte de energia autônoma e descentralizada apresentaria potencial para reduzir os custos totais de soluções integradas de projetos de desenvolvimento da produção, destravando inclusive o potencial de aplicação de *subsea tie-backs*, para se utilizar infraestruturas existentes de produção, reduzindo o custo total.

Para estimular essa avaliação, identificou-se a necessidade de se realizar uma revisão preliminar de desenvolvimentos semelhantes disponíveis na literatura aberta, para nortear um possível projeto futuro visando à definição do *roadmap* de desenvolvimento de uma solução de geração núcleo-elétrica submarina, seja para exploração das riquezas dos oceanos seja para gerar eletricidade de forma mais segura e sustentável a partir de plantas de potência submarinas próximas ao litoral. Sem o intuito de ser exaustiva, a presente revisão inclui uma discussão inicial sobre micro-reatores nucleares (MNRs) e em seguida uma breve descrição de dois projetos de outros países (Rússia e França), que mais se relacionam com a discussão aqui estimulada. Nesse contexto, prioriza-se nessa revisão os sistemas que se assemelham à tecnologia dominada em nosso país, de reatores PWR (*Pressurized Water Reactor*), já tendo em vista a possível empreitada futura de avaliação e definição de um conceito de sistema submarino de geração núcleo-elétrica.

A pesquisa e desenvolvimento eventualmente a serem propostos serão naturalmente influenciados pela experiência acumulada da Marinha do Brasil (CTMSP) e seus colaboradores em Universidades e Institutos de Pesquisa da CNEN, no desenvolvimento do LABGENE e do SN-BR no contexto do Programa Nuclear da Marinha (PNM) e do Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB), pela experiência de licenciamento da CNEN e da mais recentemente criada Agência Naval de Segurança Naval e Qualidade (AgNSNQ), bem como pela larga experiência da Petrobras e seus parceiros no uso

e desenvolvimento de equipamentos *subsea* para águas ultra-profundas. Por outro lado, esta discussão também oferece uma janela de oportunidades para um eventual aprofundamento e revisão do projeto do reator nuclear de propulsão naval para fins submarinos, bem como em sentido mais amplo, para novos desenvolvimentos em tecnologia nuclear com fins duais.

## 2. Micro Reatores Nucleares

Os chamados (SMRs) são reatores nucleares de potência, em geral abaixo de 300 MWe [1], que tem se mostrado promissores em termos de atendimento de demandas específicas na geração de eletricidade e aplicações não-elétricas, redução de custos, aumento de segurança, e outros aspectos industriais e comerciais relevantes. Sua concepção sempre foi associada ao emprego modular, ou seja, projetando-se o atendimento de toda uma faixa de potências pela agregação de diferentes números de unidades em uma única central. A palavra “modular” caracteriza o fato de o SMR poder ser fabricado e posteriormente transportado para o sítio da central nuclear para ser montado, seja como um reator isolado ou como um “módulo” de um cluster de SMRs. Entretanto, já foi identificada uma nova classe de pequenos reatores, tipicamente abaixo de 30 MWe e 100 MWt, chamados de *Micro Nuclear Reactors* (MNRs) [2], que em geral visam ao atendimento de demandas pontuais e off-grid, seja em regiões remotas de difícil acesso, em áreas de desastres ou em instalações militares. De acordo com a definição em [3], micro reatores nucleares são pequenos reatores capazes de operar independentemente da malha de eletricidade para suprir potência de forma resiliente, mesmo para cargas críticas, bem como para fornecer potência primária para operação normal e em situações emergenciais. A *World Nuclear Association*, por outro lado, propõe uma subcategoria de reatores muito pequenos - vSMRs - para unidades com menos de 15 MWe [4], especialmente para comunidades remotas.

A seguir revisamos alguns dos projetos de MNRs em andamento, em particular em conexão com o Departamento de Defesa (DoD) dos Estados Unidos [3].

### 2.1 General Atomics

A General Atomics (GA) está desenvolvendo uma fonte de energia nuclear móvel que se encaixa em um contêiner CONEX padrão e é capaz de geração autônoma de 4-10 MWe com um período de reabastecimento superior a 10 anos. A fonte de alimentação compacta baseia-se no desenvolvimento de materiais e combustíveis de alta temperatura que

resultam em excelente desempenho, um alto grau de segurança e proteção contra ameaças em potencial. Também é capaz de responder rapidamente a grandes flutuações em pequenas cargas de uma base militar. Seus recursos autônomos derivam dos sistemas de defesa integrados da GA (por exemplo, missões de reconhecimento e interdição de aeronaves não tripuladas) e fornecimento de hardware militar para produção de energia, comunicações e controle de missão. O projeto também se baseia na experiência da GA no fornecimento de dezenas de reatores de pesquisa com menos de 10 MWt e na experiência anterior da GA em um reator comercial avançado.

### 2.2 NuScale

A NuScale está avaliando vários conceitos de micro-reatores na faixa de potência de 1 a 10 MWe. Dois desses conceitos, o *NuScale Power Module* (NPM) de unidade única e o NPM de tamanho reduzido, são micro-reatores de água leve que alavancam os atuais esforços de projeto e licenciamento da NuScale. Ambos os conceitos podem servir de base para uma plataforma energética diversificada que pode fornecer eletricidade, calor, dessalinização e produção de hidrogênio para as instalações do Departamento de Defesa, bem como para cidades e indústria. Esses conceitos utilizam salas de controle altamente automatizadas e circulação natural para resfriamento. Ambos os conceitos podem operar por 10 anos ou mais sem reabastecimento, com o NPM de uma unidade usando combustível enriquecido a menos de 5% de U-235 e o NPM de tamanho reduzido usando o combustível HALEU (*high-assay low-enriched uranium*).

### 2.3 Oklo

A Oklo está desenvolvendo um reator compacto de 2 MWe de espectro rápido. Ele foi projetado para atender comunidades remotas, rurais e nativas, bem como locais de difícil acesso para fins industriais e militares. O reator opera puramente com forças físicas naturais, com muito poucas partes móveis. O reator foi projetado para operar por até 20 anos antes do reabastecimento e usa combustível HALEU (*High-Assay Low-Enriched Uranium*).

### 2.4 Westinghouse

O micro-reator eVinci™ da Westinghouse é um gerador de energia semi-autônomo, transportável e escalonável, com potências variando de 200 kW a 15 MWe. O eVinci, que é uma evolução do conceito Megapower e da tecnologia de tubos de calor do Laboratório Nacional de Los Alamos, foi projetado

para fornecer calor e energia combinados para instalações militares, comunidades remotas e instalações de mineração, com operação de alta resiliência. O eVinci™ utiliza o combustível HALEU e possui um reator de estado sólido com mínimas peças móveis e tem como objetivo operar por pelo menos 10 anos sem reabastecimento e manutenção.

### 2.5 X-energy

O X-battery da X-energy é um reator transportável por meio terrestre, refrigerado a gás e de alta temperatura, com uma potência térmica de 10 MWt. Emprega combustível HALEU com esferas de combustível UCO (*uranium oxycarbide*) TRISO (*tristructural isotropic*). O reator pode ser operado de forma autônoma, sem a presença de operadores no local, ou em instalações com poucos operadores. O micro reator Xe-100 foi projetado para ser flexível em sua aplicação e pode ser configurado para incluir cogeração de eletricidade e calor para apoiar a produção de hidrogênio. Vários ciclos avançados de combustível foram testados no passado, como o (Th,U)O<sub>2</sub>, que pode operar por cerca de 10 anos com uma única carga do núcleo.

### 2.6 Outros desenvolvedores

Além dos desenvolvedores aqui revisados, há outras empresas que estão desenvolvendo projetos de micro-reatores, como a HolosGen, LeadCold Nuclear, NuGen, Starcore Nuclear, Rosatom, Urenco e Ultra Safe Nuclear. Nem todas foram incluídas nessa revisão, pois não há informações públicas suficientes disponíveis. Por exemplo, a NuGen lançou um esforço empresarial auto-financiado para desenvolver um micro reator de 20 MWe, visando seu uso em locais de pouso na Lua e Marte, bem como para aplicações terrestres em regiões inóspitas. O consórcio UBattery liderado pela Urenco concluiu a primeira etapa do convite dos Laboratórios Nucleares Canadenses (CNL) para instalar um pequeno reator modular (SMR) no sítio de Chalk River. O U-Battery é um micro reator nuclear de alta temperatura, refrigerado a gás, de 4 MWe (10MWt). O projeto foi iniciado pela Urenco em 2008 e o design conceitual foi desenvolvido pelas Universidade de Manchester e Dalton Institute, no Reino Unido, e pela Technology University of Delft, na Holanda.

Na referência [1], são revisados mais de 50 projetos de SMRs, de diferentes países, incluindo aqueles acima citados, consolidando informações de pequenos reatores refrigerados a água, reatores de altas temperaturas refrigerados a gás, reatores rápidos, reatores refrigerados a sal fundido, e outros.

### 3. Reatores Nucleares Subsea

O desenvolvimento de centrais nucleares de potência *offshore* (ONPP, da sigla em inglês *Offshore Nuclear Power Plants*) é um tema de interesse relativamente recente e crescente, e inclui a configuração de reatores submersos como um caso especial, como esquematizado na figura 1 abaixo [5]. Recentes avanços nas centrais nucleares oceânicas foram revisados em [5], incluindo sua disposição geral, parâmetros de projeto e recursos de segurança. Além das configurações apontadas abaixo, deve-se também destacar o tipo submerso ancorado, em que a profundidade de posicionamento da ONPP pode variar, em geral entre 50-150 m, independentemente da lâmina d'água, sem requerer necessariamente seu completo posicionamento no leito marinho.

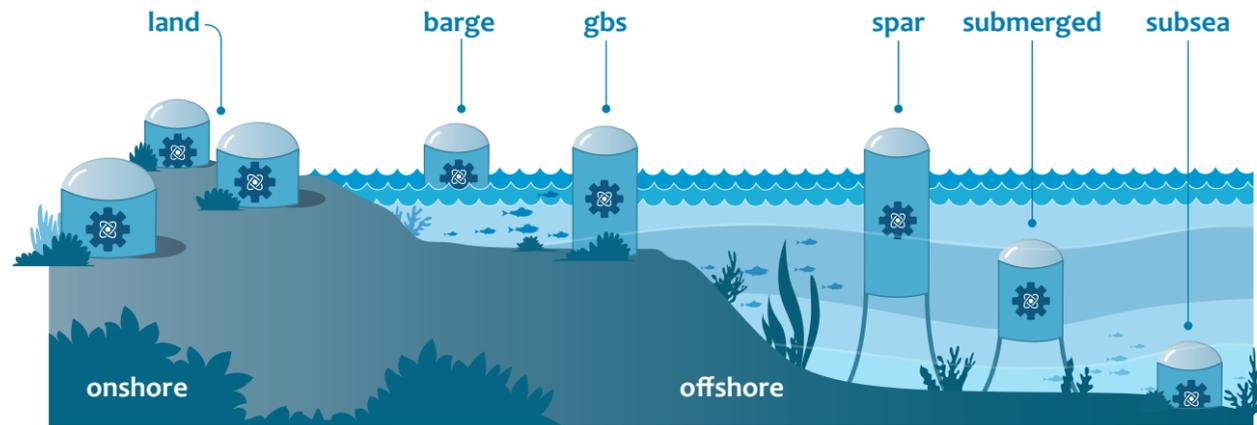


Figura 1: Classificação dos tipos de centrais nucleares offshore (ONPP), adaptado de [5].

A primeira planta nuclear *subsea* projetada de que se tem registro na literatura foi proposta pela Rockwell International em 1974 [6], visando justamente viabilizar a produção de petróleo *offshore* com geração de 3 MWe. No conjunto de SMRs revisado pela IAEA em 2018 [1], apenas 6 reatores são considerados como de uso marítimo (1 da China e 5 da Rússia), todos refrigerados a água. Apenas um, o **SHELF** da Rússia, foi projetado para uso tanto embarcado quanto submerso, e será aqui revisado. Destaca-se aqui também a plataforma submersível **FlexBlue** [7-10], desenvolvido pelo líder francês em tecnologia naval DCNS, que incorpora os principais méritos dos SMRs. Finalmente, outras concepções que não se transformaram em projetos mas estão associadas a reatores de água leve pressurizada serão brevemente discutidos.

#### 3.1 SHELF (Rússia)

Uma unidade de energia baseada no reator SHELF da NIKIET, Rússia, é uma cápsula para gerar 6,6 MWe (28,4 MWt), podendo chegar a 10 MWe com o reator ABV-6E da OKBM, que foi projetada em duas opções: uma cápsula contendo apenas os componentes

do reator ou outra cápsula de tamanho maior que inclui também o turbogerador (TGP), o sistema automatizado e de controle remoto, e sistemas de monitoramento, proteção e regulação da produção de eletricidade. A referência [1] reúne informações relevantes sobre o reator SHELF, que se encontra hoje na etapa de projeto detalhado.

A capsula pode ser usada tanto em plataformas flutuantes como em usinas nucleares submersas, e seu projeto de engenharia é muito semelhante ao de reatores nucleares de propulsão naval. A unidade de energia é entregue como um único item, com todos os seus componentes acomodados dentro de um casco cilíndrico de alta resistência, com diâmetro interno de 8 m e comprimento de 14 m, conforme pode ser visto na Figura 2(a). A concepção é de um reator PWR integral (IPWR), combinando circulação forçada e natural no circuito primário. A capacidade de operação autônoma a longo prazo do reator, do TGP e de outros equipamentos dentro do módulo SHELF, elimina a necessidade de operadores dentro da unidade de potência e mantém o módulo não tripulado durante o período de operação. A recarga é programada para um tempo de operação de 6 anos,

com fator de capacidade de 80% e combustível de pastilhas de UO<sub>2</sub> a 19,7% de enriquecimento. O reator foi projetado para uma vida útil de 60 anos com foco na utilização em regiões de difícil acesso, em particular na região do Ártico. Seu licenciamento está previsto para ocorrer até o final de 2020.

Apesar da dificuldade de se encontrar informações na literatura russa, foi possível apurar que o custo do primeiro SHELF girará em torno de 6,7 bilhões de rublos, a preços de 2017 (ou cerca de 113 milhões de dólares ao câmbio de 30/06/2017), reduzindo para cerca de 5,2 bilhões de rublos na produção em série (ou cerca de 88 milhões de dólares). A Figura 2(b) ilustra as diferentes concepções do reator SHELF, em sistema completo ou separado, para aplicações submersas ou em terra.



Figura 2a: Ilustração do transporte marítimo das cápsulas (previsão de 400t cada).

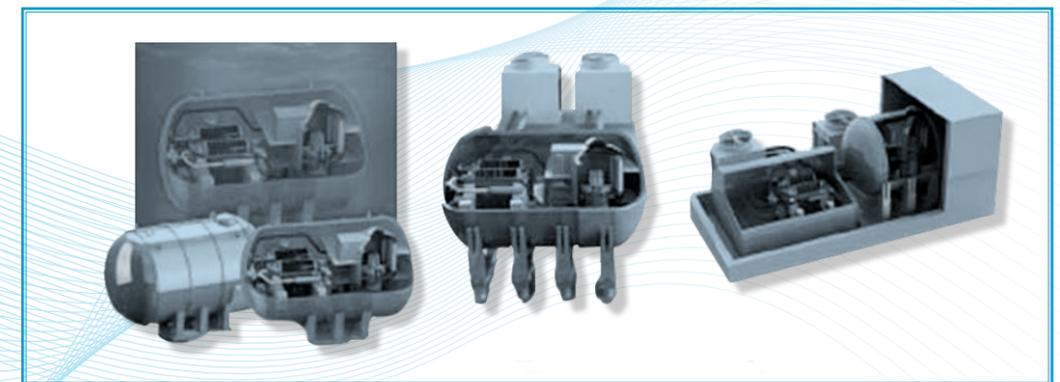


Figura 2b: Detalhes do conceito do reator SHELF para aplicação submarina e em terra (sistemas completo e separado).

#### 3.2 FLEXBLUE (França)

O coração do sistema Flexblue (Figura 3) consiste em um módulo com um projeto derivado de submarinos nucleares, porém sem tecnologia militar, sendo equipado com um reator nuclear PWR comprovado. O módulo foi idealizado para ser ancorado em águas territoriais (cerca de 5-15 km) do país anfitrião, a uma lâmina d'água de 60-100 m. Com uma potência de cerca de 160 MWe (530 MWt), os módulos (~ 150 m de comprimento, 14 m de diâmetro e aproximadamente 12 mil toneladas) são fabricados combinando-se submódulos. Assim, qualidade e tempo de construção podem ser mais facilmente controlados. O FlexBlue foi idealizado para ser facilmente transportável e disponibilizado onde e quando necessário.

Sendo submerso, o FlexBlue se beneficia da capacidade de resfriamento ilimitada. Na operação e em condições acidentais (mesmo acidentes graves), o casco, atuando como barreira, deve permanecer estanque. Além disso, a maioria dos riscos que podem prejudicar a integridade do casco, caso a instalação fosse em terra (explosões, acidentes de avião, etc.), é inerentemente eliminada. Contaminação ambiental resultante de grandes acidentes nucleares (Chernobyl, Fukushima) foram essencialmente a consequência de transferências aéreas e depósitos de iodo e cério no solo. No entanto, com um reator submerso, esse caminho aéreo de contaminação para seres humanos é intrinsecamente impedido.

O FlexBlue não é tripulado, exceto para visitas periódicas de inspeção e manutenção, o que deve resultar em redução de custos de operação e alta confiabilidade. A água do mar permite implementar e operar com facilidade sistemas de segurança passivos capazes de remover o calor residual dos sistemas secundário e primário, aumentando a segurança. Seu projeto prevê um tempo de vida de 60 anos, com ciclo de recarga de combustível de 40 meses.

### 3.3 Outras concepções

Em um estudo do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) motivado e financiado pelo próprio projeto FlexBlue da DCNS [11], examinou-se as opções de tecnologia nuclear mais viáveis para futuros projetos de reatores *subsea* que atenderiam a altos padrões de segurança, bem como apresentariam um bom potencial econômico, para possível construção no período de 2030 a 2040. Os cinco principais conceitos selecionados, a partir de uma pesquisa de 13 tecnologias nucleares, foram comparados ao caso base de um pequeno reator modular de água pressurizada (PWR) projetado com um layout convencional. Em ordem de menor a maior tamanho do sistema primário, onde o reator e todos os sistemas de segurança estão contidos, os cinco principais projetos selecionados foram: (1) um reator rápido (*lead-bismuth*) baseado no reator russo SVBR-100; (2) um novo reator resfriado por líquido orgânico; (3) um reator de vapor superaquecido inovador [12]; (4) um reator BWR com base no LSBWR da Toshiba; e (5) um PWR integral com geradores de vapor compactos. Chegou-se à conclusão que o tamanho do casco resistente exigido pelo reator *subsea*, seus sistemas de segurança e o ciclo de potência, pode ser significativamente reduzido (de 50% a 80%) com esses cinco principais projetos em comparação com o sistema PWR convencional.

Uma abordagem proposta em [11] para aumentar a competitividade de um PWR para implantação *offshore* é reduzir o tamanho do casco (contenção) necessário para acomodar a planta. Para fornecer uma alternativa ao design típico de um PWR, como no reator do Flexblue, a configuração PWR integral (IPWR) foi escolhida, devido ao seu potencial para reduzir o tamanho da contenção e eliminar por projeto acidentes de perda de refrigerante. Recentemente, PWRs do tipo integral foram aplicados a SMRs, como os projetos mPower e Nuscale, que ganharam atenção significativa. A configuração integral contém o núcleo, geradores de vapor, pressurizador e possivelmente bombas e unidades de barras de controle (CRDs) dentro da contenção do reator. Além disso, o uso de trocadores de calor compactos para reduzir o tamanho da contenção de um IPWR foi proposto por Shirvan et al. [13] e mais tarde adotado pela Westinghouse, na forma de trocadores de calor de circuito impresso (PCHes) [14]. O PCHÉ é um tipo de trocador de calor compacto comprovado que provê alta densidade de energia, juntamente com baixa perda de carga e requisitos de manutenção reduzidos, com aplicação

atual e frequente na indústria de petróleo e de processamento de produtos químicos. Os PCHes são feitos de uma pilha de placas metálicas com passagens semicirculares que são unidas por “*diffusion bonding*” [14]. Recentemente, sua utilização em reatores a fusão nuclear também foi simulada e avaliada [15].

### 4. Perspectivas para o Brasil

Em 2019, o Brasil manteve sua posição no ranking de produção de petróleo, sendo o 10º maior produtor de petróleo no mundo, quase na sua totalidade com a produção em águas profundas e ultraprofundas por meio de plataformas do tipo FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*).

Com os avanços na exploração do Pré-Sal e os recentes leilões promovidos pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), há o potencial de o País alçar posições ainda melhores no *ranking* de maiores produtores mundiais. Para descobrir as reservas do Pré-Sal, que figuram entre as mais importantes descobertas da indústria de Óleo & Gás (O&G) das últimas décadas, e operar com eficiência em águas ultraprofundas, a Petrobras juntamente com seus parceiros desenvolveu tecnologias próprias e também em parceria com fornecedores, universidades e centros de pesquisa. O desenvolvimento tecnológico da Petrobras em diversas áreas relacionadas ao setor de óleo e gás, em particular na engenharia submarina, explicam a liderança do país na produção de petróleo em águas ultraprofundas bem como o reconhecimento internacional pela conquista de 4 prêmios da OTC (w), principal premiação internacional da tecnologia offshore, sendo o último recebido em 2020, pelo desenvolvimento do supergigante campo de Búzios, localizado no pré-sal brasileiro. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2029), o Pré-Sal contribuirá com 77% da produção de petróleo e aproximadamente 80% da produção de gás natural do país em 2029, com investimentos que podem chegar a 1,8 trilhão de reais entre 2020 e 2029. Como qualquer processo industrial, a produção de óleo e gás offshore é altamente demandante de energia que, tradicionalmente, é fornecida por meio turbinas que compõe o sistema de geração dos FPSOs e que são responsáveis por alimentar as facilidades da plataforma tais como bombas, compressores e também os equipamentos situados no leito marinho para processamento e bombeamento de óleo, gás e água para a superfície.

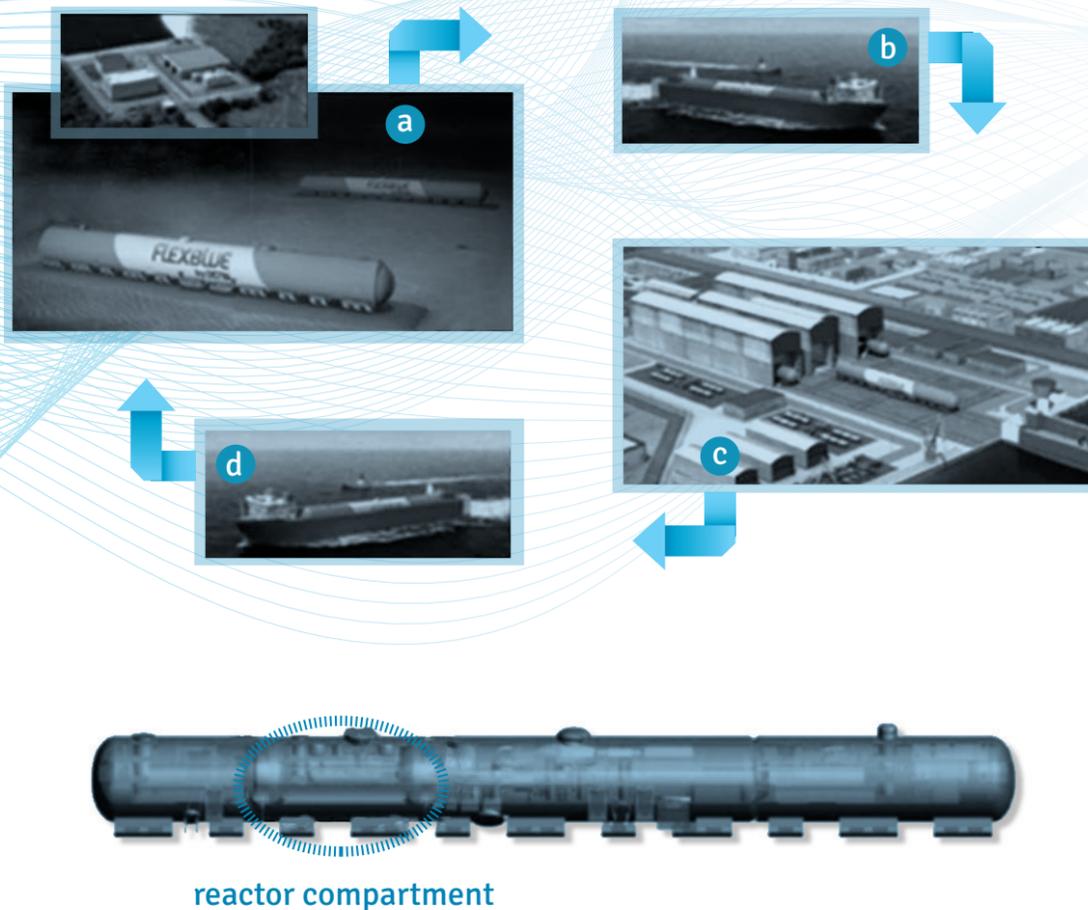


Figura 3: Esquema da plataforma submersível FLEXBLUE (DCNS), incluindo a instalação subsea, o transporte por navio, a manutenção em terra, e o detalhe do posicionamento do reator [7].

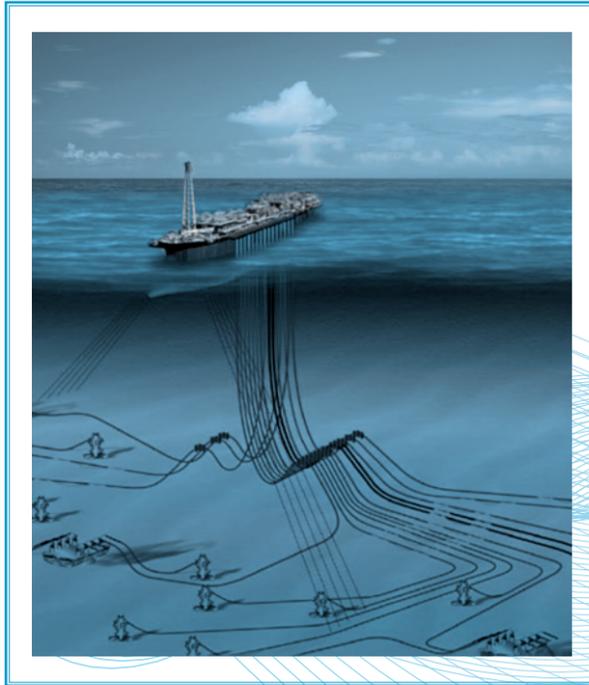


Figura 4:  
Arranjo submarino típico dos sistemas de produção do pré-sal  
Fonte: [https://www.presalpetroleo.gov.br/ppsa/conteudo/Evento-AIPN-15Ago2019\\_%20julio.pdf](https://www.presalpetroleo.gov.br/ppsa/conteudo/Evento-AIPN-15Ago2019_%20julio.pdf),  
consultada em 30/08/2020, às 23:19h.

Uma tendência mundial é marinizar os equipamentos de produção para instalação no fundo do mar (*subsea factory*), de forma a reduzir significativamente o tamanho das plataformas de produção, o custo de transporte através de dutos e risers em mais de 2000 m de lâmina d'água, bem como os volumes de hidrocarbonetos manuseados nas instalações de superfície para, conseqüentemente, aumentar a segurança operacional. O conceito *subsea factory* apresenta potencial para modificar significativamente o arranjo submarino tradicional de sistemas de desenvolvimento da produção (Figura 4) de forma a posicionar no fundo do mar uma série de sistemas como processamento, separação e bombeio, desafogando as plantas de superfície e assim permitindo conceber sistemas mais sinérgicos cujo objetivo principal será a produção de mais hidrocarbonetos ao menor custo.

Um limitante do *subsea factory* é a dificuldade de prover energia elétrica, principalmente em regiões já em operação, nas quais o aumento da capacidade de geração de energia elétrica seria muito custoso

ou mesmo inviável. Neste contexto, a energia nuclear *offshore* tem sido analisada [16] como uma fonte alternativa para suprir a demanda de sistemas submarinos, viabilizando inclusive a revitalização de campos em operação onde a demanda de geração de energia elétrica *in-situ* para exploração de petróleo está próxima ao limite técnico e econômico das plataformas atuais. Essa preocupação é ainda mais crítica ao se observar que nos próximos campos do pré-sal a serem explorados há uma tendência de quantidades ainda maiores do que nos campos já em produção, quando o teor do contaminante pode passar os 50% em volume, cenário que requer plantas de processamento na superfície maiores e mais complexas, que consomem mais energia para sua separação e reinjeção nos reservatórios.

O setor de energia nuclear no país caminha para um fortalecimento oportuno e necessário, com a retomada pela Eletronuclear das obras da Usina Nuclear Angra 3 e a conclusão da fase de montagem eletromecânica do LABGENE (Laboratório de Geração

Nucleoelétrica) do CTMSP (Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo), protótipo em terra do reator para propulsão do nosso primeiro submarino nuclear, o SN-BR. Em paralelo, o IPEN|CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) e a AMAZUL S.A., em parceria com a INVAP da Argentina, concluem o projeto executivo do Reator Multipropósito Brasileiro, RMB. Além disso, estudos de concepção de um pequeno reator para dessalinização nuclear, o DESSAL, prosseguem em colaboração da DGDNTM, COPPE|UFRJ, CNEN e AMAZUL [17]. Essas iniciativas induzem o reaquecimento do desenvolvimento científico e tecnológico em reatores nucleares e certamente requerem e acionam toda uma cadeia de conhecimento e de produção de bens e serviços, fortalecendo necessariamente também toda a estrutura de análise de segurança e regulação nuclear [18]. A conclusão do primeiro reator integralmente projetado e construído no país, o LABGENE, de certo será uma importante conquista da engenharia do nosso país e um indutor de novos projetos na área nuclear. A concepção de um micro reator PWR integral para implantação offshore, seja para exploração de petróleo, recursos minerais ou cogeração de eletricidade e dessalinização em regiões costeiras, poderá se beneficiar dessa experiência em projeto, construção e operação revigorada, podendo vir a se constituir no próximo grande desafio de pesquisa e desenvolvimento na área nuclear no país, em uma parceria natural com a Petrobras e o parque tecnológico da área de petróleo e gás.

Como proposto em [19], o Brasil deveria criar um programa de governo cujo objetivo maior fosse avançar na fronteira do conhecimento tecnológico no Mar Profundo, uma vez que a atuação científica e a tecnologia brasileira nessa fronteira são ainda modestas em relação a seu interesse econômico e estratégico para o País.

## 5. Referências

- [1] IAEA, International Atomic Energy Agency (2018). "Advances in small modular reactor technology developments", Supplement to IAEA Advanced Reactors Information System (ARI, Vienna, Austria).
- [2] NUVIA (2016). "Market and Technical Assessment of Micro Nuclear Reactors", Technical Report 80755/REP/01, p.56, Warrington, UK, March.
- [3] NEI, Nuclear Energy Institute (2018). "Roadmap for the Deployment of Micro-Reactors for U.S. Department of Defense Domestic Installations", NEI Project Lead: Marcus Nichol, Director New Reactor Deployment, Technical Report, p.25, USA.
- [4] World Nuclear Association (2019). "Small Nuclear Power Reactors, updated Oct. 2019.

[5] Kang-Heon Lee, Min-Gil Kim, Jeong Ik Lee, and Phill-Seung Lee (2015). "Recent Advances in Ocean Nuclear Power Plants", *Energies*, vol. 8, pp.11470-11492. doi:10.3390/en81011470

[6] Atomics International Division, Rockwell International (1974). "Design Report: 3000-kWe Subsea Nuclear Power Plant", AI-AEC-1314, General Reactor Technology.

[7] V. Gourmel, F. Puccetti, F. Revaud (2016). "Flexblue® Underwater Reactor: Introduction to the Concept and to the Passive Safety Strategy for a Steam Generator Tube Rupture Accident", *KnE Energy*, vol. 2016, 18 pages. doi: 10.18502/ken.v1i1.475.

[8] J.-J. Ingremeau and M. Cordiez (2015). "Flexblue® core design: optimisation of fuel poisoning for a soluble boron free core with full or half core refueling", *EPJ Nuclear Sci. Technol.* Vol.1, 11. doi: 10.1051/epjn/e2015-50025-3

[9] G. Haratyk and V. Gourmel (2015). "Preliminary accident analysis of Flexblue® underwater reactor", *EPJ Nuclear Sci. Technol.* 1, 6. doi: 10.1051/epjn/e2015-50030-x

[10] M. Santinello, M.E. Ricotti, H. Ninokata, G. Haratyk, J.J. Ingremeau, V. Gourmel (2017). "External heat transfer capability of a submerged SMR containment: The Flexblue case", *Progress in Nuclear Energy*, vol. 96, pp. 62-75. doi: 10.1016/j.pnucene.2016.12.002

[11] K. Shirvan, R. Ballinger, J. Buongiorno, C. Forsberg, M. Kazimi, N. Todreas (2016). "Technology Selection for Offshore Underwater Small Modular Reactors", *Nuclear Eng. & Tech.*, Vol.48, pp.1303-1314.

[12] K. Shirvan, M. Kazimi (2016). "Superheated Water-Cooled Small Modular Underwater Reactor Concept", *Nuclear Eng. & Tech.*, Vol.48, pp.1338-1348.

[13] K. Shirvan, P. Hejzlar, M.S. Kazimi (2012). "The Design of a Compact Integral Medium Size PWR", *Nucl. Eng. Design*, Vol. 243, pp. 393-403.

[14] HEATRICTM. <http://www.heatric.com>.

[15] A. C. P. Oliveira (2020). "Análise Numérica de Trocador de Calor do Tipo Circuito Impresso (PCHE) Aplicado a Reator de Fusão Nuclear", Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Nuclear, PEN, COPPE/UFRJ.

[16] R. Itiki, S. G. Di Santo, C. Itiki, M. Manjrekar, B. H. Chowdhury (2019) "A comprehensive review and proposed architecture for offshore power system", *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 111, pp. 79–92.

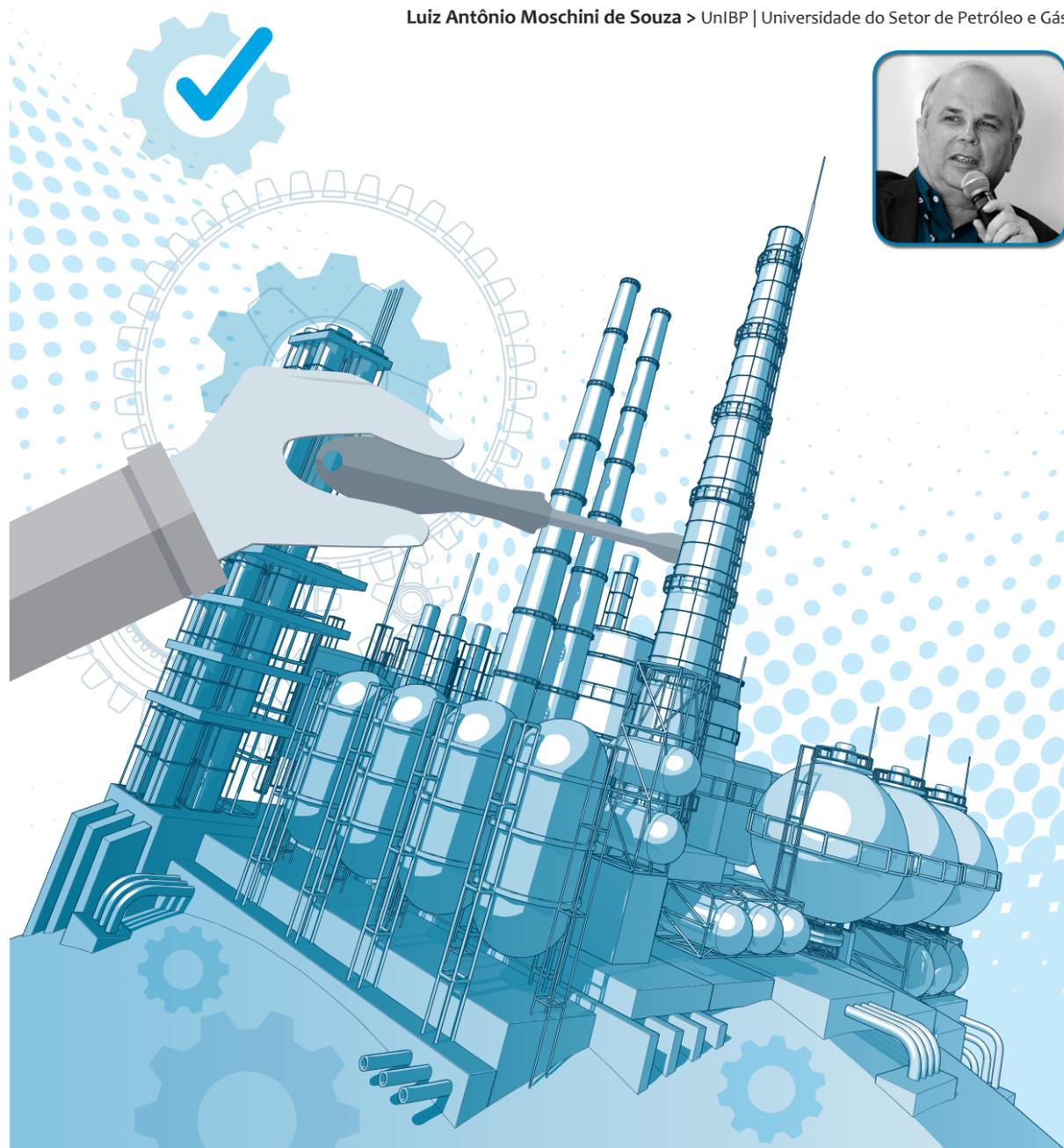
[17] R.M. Cotta, A.C. Pontedeiro, P.A.B. Sampaio, Su Jian, C.A. Aragão de Carvalho, P. Carajilescov, C.P. Naveira Cotta, K.M. Lisboa, J.R.B. Souza, M.A.V. Freitas, G.M. Haguenaer, "Pequenos Reatores Modulares (SMRs): Perspectivas em Dessalinização Nuclear", *Conexão Nuclear*, ABDAN, Vol.1, no.1, p.19, 2019 ([www.abdan.org.br](http://www.abdan.org.br)).

[18] L.S. Guimarães (1999). "Síntese da Doutrina de Segurança para Projeto e Operação de Submarinos Nucleares", Tese de Doutorado, Escola Politécnica, USP.

[19] C. F. Alvim, L. P. C. Fernandes, L. S. Guimarães (2013). "A Nova Fronteira: O Mar Profundo", *Revista Marítima Brasileira*, Vol. 133, no. 07/09, pp.9-26, jul./set.

# inspeção de equipamentos

Luiz Antônio Moschini de Souza > UnIBP | Universidade do Setor de Petróleo e Gás



Quando paramos para pensar na integridade e longevidade dos equipamentos utilizados em plantas químicas, petroquímicas, de fertilizantes entre outras, sempre imaginamos que seus equipamentos foram construídos com projeto esmerado e com grande resistência, afinal, estes equipamentos são submetidos a grandes pressões, ciclos térmicos e temperaturas extremas e, uma única falha, pode ter consequências catastróficas.

Embora sejam fabricados com robustez, não significa que tais equipamentos sejam indestrutíveis ou a prova de falhas. Equipamentos sofrem desgaste ou deterioração de seus materiais em função do tempo de operação. Por esta razão, é essencial que sejam periodicamente inspecionados, não só para verificar seu funcionamento correto e seguro, mas também para estabelecer sua vida remanescente. Essas ações permitem identificar e antecipar problemas com

tempo suficiente para corrigi-los, evitando assim, possíveis perdas de contenção que iriam resultar em acidentes com forte impacto para pessoas e meio ambiente, ou então, permitem prevenir interrupções e indesejáveis de produção.

Os principais equipamentos controlados pela equipe de inspeção de equipamentos geralmente são: Caldeiras, Vasos de Pressão, Fornos, Tanques de Armazenamento e Trocadores de Calor. Também são objeto de muita atenção as tubulações de interligação e os dutos utilizados para transferência de produtos. É importante lembrar que, os mesmos conceitos acima citados, também são aplicados na indústria automobilística, aeronáutica, naval, ferroviária, mineração, do papel etc. Desta forma que, os equipamentos a serem controlados e inspecionados, dependem fundamentalmente do segmento produtivo considerado.

Dependendo da ocasião em que as atividades de inspeção são realizadas a atividade pode subdividir-se em: Inspeção de fabricação e recebimento, Inspeção de construção e montagem e Inspeção em Operação ou em Serviço. As inspeções também podem ser realizadas por equipe do proprietário dos ativos ou por profissionais ou empresas contratadas. O foco deste artigo será na inspeção de equipamentos em serviço com equipe própria.

Para que as atividades de inspeção sejam desenvolvidas com competência faz-se necessário que a equipe de inspeção, geralmente composta por engenheiros e técnicos especializados, tenham

profundos conhecimentos no projeto e características funcionais dos equipamentos, em resistência e seleção dos materiais, em soldagem e processos de caldeiraria, nos processos de deterioração e desgaste de materiais, em pintura proteção catódica e outros meios de proteção. Também é necessário um bom conhecimento das técnicas e ensaios para avaliação dos materiais, principalmente ensaios não destrutivos (END) e de ensaios mecânicos.

## Evolução da IE

A Inspeção de equipamentos surgiu como uma arma para conter o número excessivo de acidentes e mortes decorrentes da falha em equipamentos. Se por um lado a pressão e temperatura de operação dos primeiros equipamentos, introduzidos durante a Revolução Industrial no início do século XIX não fossem muito elevadas, por outro lado, os conhecimentos de projeto, a qualidade dos materiais e as técnicas de inspeção eram rudimentares. Centenas de acidentes e milhares de mortes foram registradas nos primeiros anos.

No princípio estes acidentes eram aceitos pela sociedade e considerados como o “preço do Progresso”. Geralmente os maiores acidentes ocorriam no segmento de transporte, que utilizavam navios e trens propelidos a vapor. O vapor era gerado por caldeiras do tipo flamotubular, muitas delas rebitadas. Os acidentes eram graves e com frequência tal que os jornais e periódicos passaram a dispor de sessões denominadas “Acidentes da Semana”.

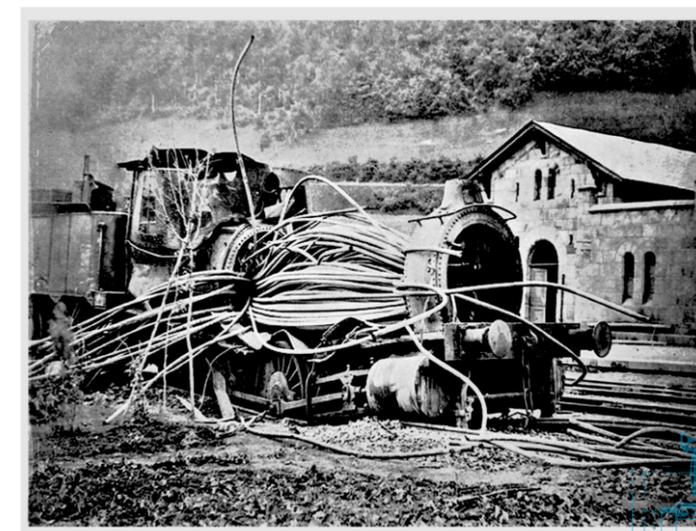


Foto1: Explosão de locomotiva a vapor | RailroadForums.com | (última atualização: Aug. 21|2019) <https://railroadforums.com/forum/index.php?threads/locomotive-boiler-explosion.14364/#ig=attachment90479&slide=0>

evento	ano	país	local	mortos	feridos
SS James T. Staples (Navio)	1913	E. Unidos	Bladon Springs	26	21
Southern Pacific	1912	E. Unidos	San Antonio Texas	26	
Central Georgia Railway	1907	E. Unidos	Reynolds Georgia	02	02
Grove Shoe Factory	1905	E. Unidos	Brockton Massachusetts	58	150
USS Benington (Navio)	1905	E. Unidos	San Diego	66	
Annie Faxion (Navio)	1893	E. Unidos	Columbia River	08	
Boston Stampyng CIA	1878	E. Unidos	Cambridge	03	06
HMS Thunder (Navio)	1876	Inglaterra	Portsmouth	45	70
Town & Son Factory	1869	Inglaterra	Bingley Yorkshire	15	
Sultana (Navio)	1865	E. Unidos	Menphis Tennessee	1800	
Merrick Sons	1864	E. Unidos	Philadelphia	07	13
USS Chenango (Navio)	1864	E. Unidos	New York	28	06
USS Tulip (Navio)	1864	E. Unidos	Potomac River	49	
Hembrig Mills	1863	E. Unidos	Yorkshire	09	
SS Ada Hancock (Navio)	1863	E. Unidos	San Pedro Bay	26	23
SS Pennsylvania (Navio)	1858	E. Unidos	Menphis Tennessee	250	
Hague Street Explosion	1858	E. Unidos	New York	67	50
Harlen Railroad	1839	E. Unidos	New York	02	05
SS Moselle (Navio)	1839	E. Unidos	Cincinnati	81	68
OS Union (Navio)	1837	Inglaterra	Hull	20	20
Aetna (Navio)	1824	E. Unidos	New York	10	40
The Washington (Navio)	1816	E. Unidos	Marietta Ohio	12	05
Brunton's Mechanical Trav.	1815	Inglaterra		16	
Chesapeake Ohio Railway	1842	E. Unidos	Hinton Virginia	03	

Tabela 1:  
Resumo de Acidentes ocorridos com Trens, Navios e Instalações Industriais.

Aos poucos a sociedade passou a reagir negativamente contra os acidentes. Novas técnicas de inspeção foram desenvolvidas para aplicação em ferrovias e na Indústria naval. Inspeção sensitiva (usando martelo), inspeção com partículas magnéticas (por injeção de corrente contínua) em trilhos, eixos e rodas foram inicialmente desenvolvidos.

Impressionados com o número crescente de acidentes, um grupo de engenheiros mecânicos dos Estados Unidos criou, em 1880, uma associação denominada ASME - Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos. A sociedade, de caráter não governamental, tinha como propósito estimular a criação de medidas para contenção do avanço desenfreado de acidentes. Para que se tenha uma melhor compreensão da situação, no período de 1870 a 1910 ocorreram nos Estados Unidos 10.000 explosões de caldeiras (média de 250/ano). Estima-

se que causaram a morte de 50.000 e ferimentos em cerca 2.000.000 de pessoas.

Em decorrência de tantos acidentes (ver tabela acima), foram criados em vários estados americanos "Leis" para utilização de caldeiras, em 1911 foi publicado um Código de Construção e Montagem para Caldeiras e Vasos de Pressão do ASME (*Boiler and Pressure Vessel Code*) e em 1919 o "National Board", Código aplicável para os mesmos equipamentos, porém voltado para equipamentos "em uso". Os resultados não tardaram a aparecer.

O API - "American Petroleum Institute" foi criado no final dos anos 30, passando a publicar suas guias de inspeção a partir de 1940. Muitas partes destas guias transformaram-se nos atuais "Standards ou Práticas Recomendáveis" e serviram como referência para o desenvolvimento da inspeção de equipamentos em outros países.

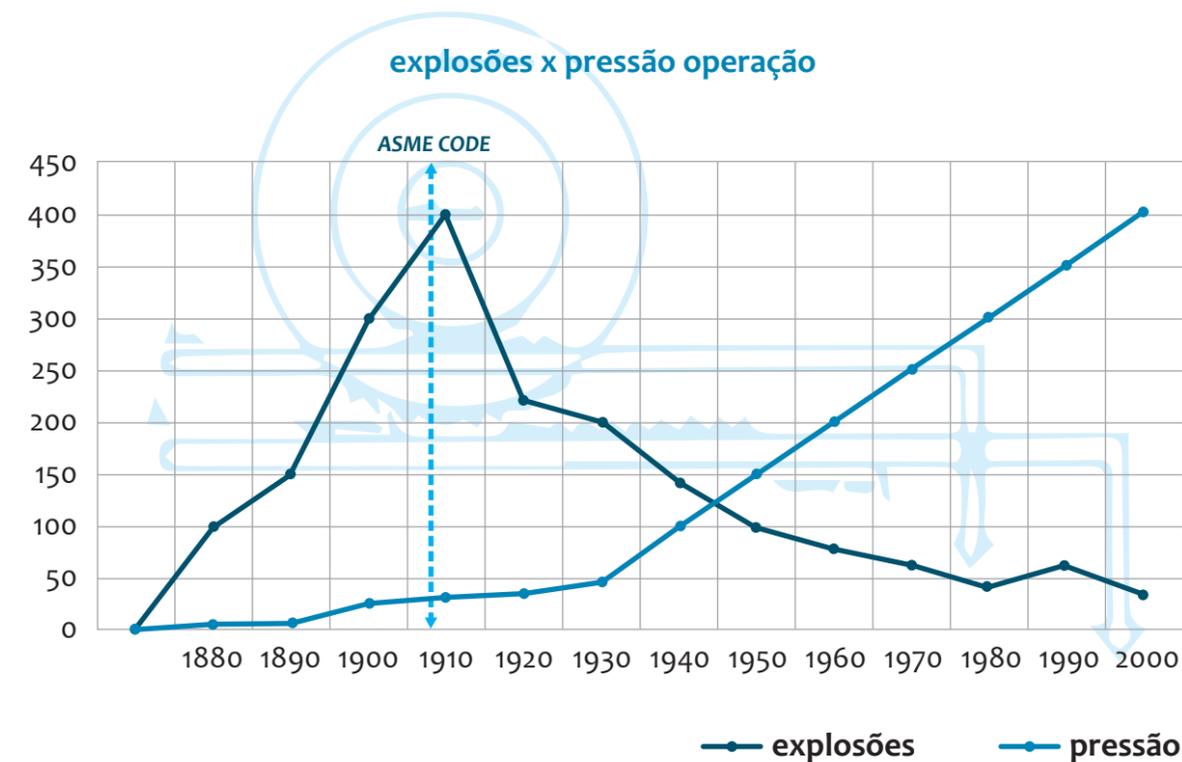


figura 1:  
Comparação entre número de explosões e pressão de operação de caldeiras à vapor

Um grande acidente ocorrido após quatro anos de operação da Refinaria Presidente Bernardes (RPBC) em Cubatão, SP alertou a Petrobras, fundada em 1953, para a importância da Inspeção de Equipamentos. De imediato foram criadas equipes de inspeção de equipamentos nas principais refinarias da Petrobras. Com a fundação do Instituto Brasileiro de Petróleo - IBP, em 1957, foram implementadas "Comissões" para debate e disseminação da atividade e para "estudo de casos" ocorridos.

Neste período foram criados Guias de Inspeção, baseados em Guias desenvolvidos pelo API (Instituto Americano do Petróleo - API) e Seminários anuais para divulgação da atividade. Profissionais como Albany Peniche, Aldo Cordeiro Dutra, Hans Westphalen e Geraldo de Araújo Lima, entre outros, com os quais tive o privilégio de aprender ou atuar, foram referência naquela oportunidade.

Com a ampliação dos parques industriais de petroquímicos e fertilizantes, na década de 70, a atividade ganhou corpo e se estabeleceu fora do contexto Petrobras. A partir dos anos 80 a atividade também se expandiu para a atividade "offshore" em função da construção de inúmeras plataformas na Bacia de Campos (RJ).



Figura 2:  
Guia de Inspeção do IBP

No rastro do IBP, foram criadas outras instituições como a ABRACO (Associação Brasileira de Corrosão) em 1968, ABENDI (Associação Brasileira de Ensaio não Destrutivos) em 1979 e FBTS (Fundação Brasileira de Tecnologia de Soldagem) em 1982, que se associaram ao IBP na promoção do desenvolvimento da atividade de Inspeção de Equipamentos no Brasil e na América Latina.

Com o transcorrer do tempo pode-se observar alterações substanciais no foco das atividades desenvolvidas pela inspeção de equipamentos. As alterações eram impulsionadas pelas demandas trazidas pelos diferentes segmentos da indústria. Assim, nos anos 60 e 70, período das grandes obras, a inspeção de equipamentos focava suas atividades no acompanhamento de fabricação, construção e montagem e no controle de qualidade de reparos.

Nesta fase, a atividade de Inspeção de Equipamentos ainda era vista com desconfiança pelos outros órgãos da empresa. A manutenção não aceitava muito bem o CQ de suas atividades. Os órgãos de operação e produção tinham restrição à retirada de operação de equipamentos, unicamente com propósito preventivo, desta forma, os conflitos eram frequentes e intensos, mas serviram para dar forma à atividade. É importante lembrar a importante atuação de profissionais como José A. Pereira Chainho, Edgar Rubem Pereira da Silva, Waldir Algarte Fernandes e José Paulo Silveira, entre muitos outros, que contribuíram para a estruturação e consolidação dos chamados “SEIEQ”.

A partir dos anos 80, observou-se redução gradual das atividades de controle de qualidade e do acompanhamento de fabricação e montagem. O ritmo das novas obras reduziu, algumas instalações ficaram maduras e próximas ao final de vida de obra de END que culminou com a criação do SNQC-Sistema Nacional de Qualificação e Certificação. Atendendo a demandas do Governo, as atividades de nacionalização de materiais e componentes de equipamentos (NAIPET) também sofreu notável expansão com envolvimento direto da IE.

No início dos anos 90, com o crescente amadurecimento da atividade de inspeção no Brasil, verificou-se a consolidação dos diferentes grupos, que atuavam de forma dispersa, em uma comunidade voltada para a troca de experiências. Um dos marcos dessa nova fase foi a realização do IEV 93 - Conferência Internacional Sobre Avaliação de Integridade e Extensão de Vida de Equipamentos Industriais. Não por acaso, e pela primeira vez, os termos “avaliação de integridade” e “extensão de vida” ganharam o devido destaque. Posteriormente, essas atividades foram inseridas dentro do contexto do COTEQ - Conferência sobre tecnologia de equipamentos. Nessa conferência, IBP, Abendi e Abraco se uniram para juntar em um único evento, todos os seminários que outrora eram apresentados separadamente. Neste período precisamos render homenagem à visão inovadora de Titto Silveira, Pedro Brambilla, Jarbas Cabral e Wilson Zaitune

Os anos 90 também reservaram um período bastante sombrio para a atividade de inspeção. Com a implementação da reengenharia e princípios equivocados de qualidade, muitos setores de inspeção da Petrobras e de suas subsidiárias foram extintos. A terceirização e utilização de cooperativas de inspeção ganhou força. O Governo reduzia custos introduzindo uma política impensada de redução de mão de obra que resultou numa redução sem precedentes no efetivo de profissionais especializados e incremento acentuado de acidentes. A inspeção de equipamentos agonizava.

Nos anos 90, função dos tantos acidentes ocorridos e da abertura política, o foco voltou-se para responsabilidade civil e criminal, revisão da regulamentação existente (NR-13). Também marcou o início da Inspeção Baseada em Risco (RBI) e da utilização de PIG Instrumentado em dutos brasileiros.

Com a revisão da NR-13 - Norma Regulamentadora de Caldeiras e Vasos de Pressão, a primeira realizada de forma tripartite e com ampla participação da comunidade, seguida do desenvolvimento da regulamentação para Certificação de Serviços Próprios de Inspeção - SPIE, (1996 a 2000) a atividade de Inspeção começou a ser recriada. Um projeto multicliente envolvendo IBP, Petrobras e Inmetro, que utilizou Auditorias Piloto e reuniões tripartites envolvendo Governo, Trabalhadores e Empresas foi implementado. A inspeção de Equipamentos ganhou corpo e respeito. Foram criados procedimentos específicos para cada atividade, a aparelhagem utilizada passou a ser calibrada e controlada, a mão de obra do inspetor passou a ter uma qualificação mínima e a contratação passou a ser utilizada com moderação. Neste período destacaram-se como atores da “recriação”, Edgar Rubem P. da Silva, Rui de Oliveira Magrini, Roberto Odilon Horta, Aldo Dutra, Fátima Leoni, Júlio Bueno, Alexandre Salgado e Vera Rodrigues.

No período entre 2000 a 2010 foram criados muitos SPIE-Serviços Próprios de Inspeção de Equipamentos, o IBP foi acreditado pela Cgcre|Inmetro para certificação de SPIE, centenas de novos treinamentos e certificações de END foram realizadas, os quadros da Inspeção de Equipamentos foram reforçados e renovados. Neste período percebeu-se também uma maior aproximação e harmonia entre a fiscalização do MTE, os Trabalhadores e as Empresas. Por conta da certificação, muitos equipamentos e tubulações que anteriormente não eram acompanhados com a devida profundidade, foram incluídos no controle. O processo SPIE passou a ter controle sobre mais de 200 mil equipamentos e tubulações.

O desenvolvimento da informática tornou possível a utilização de aplicativos para cálculo de espessuras mínimas, determinação de vida remanescente e da realização de cálculos que antes eram inimagináveis. Novos sistemas para gestão da atividade de inspeção, controle de programação e de atividades correlatas foram desenvolvidos.

## Aparelhagem e Tecnologia

Outro aspecto interessante de ser abordado refere-se à evolução da aparelhagem utilizada pela inspeção de Equipamentos. Nos primórdios da atividade, as inspeções ficavam limitadas à inspeção visual, sensitiva (usando martelo) e metroológica. Houve época em que para medir a espessura de uma chapa de um equipamento, era necessário fazer um furo, inserir um tipo de calibre (“Inspector gage”) e em seguida, após a medição, soldar uma “bolacha” para tapar o furo.

Um forte impulso ocorreu com a segunda guerra mundial, ocasião em que surgiram técnicas de inspeção mais aprimoradas utilizando radiografia, impulsos eletromagnéticos e ultrassom. Esse desenvolvimento visava melhorar a qualidade e a confiabilidade de armamentos. O problema com estas “novas técnicas” era que a aparelhagem utilizava válvulas e tubos de raios catódicos, desta forma, os equipamentos eram grandes, pesados, frágeis e não eram à prova de explosão, pois operavam com altas tensões. Lembro que o primeiro aparelho para medição de espessura que utilizei tinha quase o tamanho de um forno de micro-ondas.

Um novo impulso ocorreu nos anos 60 e 70 com o desenvolvimento dos semicondutores (transistores e circuitos integrados) montados sobre placas de circuito impresso. Esses adventos aumentaram a robustez, a confiabilidade e a portabilidade dos aparelhos. É importante lembrar que nesta época, havia serias restrições à importação. Desta forma, a aquisição e uso desta novidade eram bastante restritos, seja pela dificuldade de importação, seja pelos custos proibitivos.

Nas décadas de 80 e 90, com a introdução da tecnologia digital, uso de telas de cristal líquido e LED e com a possibilidade de armazenamento digital de dados obtidos na Inspeção a equipe de inspeção passou a contar com inúmeras técnicas de inspeção, quase todas não destrutivas que auxiliam os inspetores e engenheiros na tomada de decisão. Além das já consagradas técnicas de Inspeção utilizando líquido penetrante, partículas magnéticas, radiografia e ultrassom as equipes de inspeção podem



Figura 2:  
Acidente ocorrido em 1992 no Polo Petroquímico de Capuava.

contar hoje com equipamentos robustos, portáteis e a prova de explosão, tais como: IRIS, Phased Array, Ondas Guiadas e TOFT, ACFM, radiografia digital, Eddy Current, Termografia, endoscopia com fibras ópticas etc.

## Regulamentação

A regulamentação e Documentação aplicável para a Inspeção de equipamentos se desenvolveu e foi sendo alterada para se ajustar a alteração no perfil da atividade.

Os primeiros documentos publicados surgiram após a fundação do IBP - Instituto Brasileiro do Petróleo em 1957. Eram os Guias de Inspeção de Equipamentos e os Anais dos Seminários de Inspeção. Eram tidos como referência, e utilizados por praticamente todos os profissionais de Inspeção, nos anos 60 e 70 em conjunto com farta bibliografia estrangeira.

Em 1970 surge a Portaria 20 do DNHST, capitaneada pelo Engenheiro Júlio Rabin, que tornou obrigatória a Inspeção de Caldeiras no país. Seguiu-se a Publicação da Lei 6.514 (1977) e em seguida (1978) as Normas Regulamentadoras (NR). Os primeiros textos das NR eram elaborados de forma quase que unilateral e apresentavam algumas deficiências, fato que tornavam alguns requisitos difíceis de serem atendidos pelas empresas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT também desenvolveu normas técnicas para caldeiras (NB-55) que futuramente seria aperfeiçoada.

Em 1994 foi realizada uma ampla revisão da NR-13-Norma Regulamentadora de Caldeiras e vasos de pressão. Pela primeira vez utilizou-se um modelo tripartite para revisão. Nesta ocasião, entre outros avanços, surgiu o conceito de Certificação dos Serviços de Inspeção, subdivisão de vasos e caldeiras em categorias associada a uma matriz de risco, treinamento de operadores de processo entre outros avanços notáveis.

Com a criação da CNTT - Comissão Nacional Tripartite Temática da NR-13, sempre envolvendo amplo debate com a comunidade e modelo tripartite, o texto da NR-13 vem sendo aprimorado e modernizado, passando por revisões ente 2014 a 2018. Novos conceitos foram criados entre os quais citamos: Inspeção Não Intrusiva (INI), Sistema Instrumentado de Segurança (SIS) para Caldeiras, inclusão de Tubulações, Inclusão de Tanques de Armazenamento e Certificação do profissional Habilitado. A atuação de Roque Puiatti, Almir Augusto Chaves, Edson Funcke, Omar Pinto de Abreu e Francisco Marques, entre outros, não pode ser esquecida, neste período.

## Desfecho

Em decorrência da evolução da tecnologia, aprimoramento da regulamentação e introdução dos conceitos de certificação de SPIE, pode-se afirmar que atualmente há um melhor entendimento do papel da Inspeção de equipamentos, os sistemas de gestão ficaram mais robustos e transparentes, os profissionais ganharam competência e respeito, a confiabilidade nas instalações aumentou, com consequentes ganhos em produtividade e redução de interrupções não previstas. Finalmente todos os órgãos da empresa passam a trabalhar em harmonia, sem dissipação de energia e em prol de uma única meta maior: Segurança.

O futuro ainda reserva muitas mudanças para a atividade de Inspeção de Equipamentos. Controle e acompanhamento de deterioração em tempo real, novas tecnologias de END apoiados em nanotecnologia, utilização de Drones e outros mecanismos que afastem os inspetores da área de risco e também um maior estreitamento com o controle de processos. Estas são fronteiras que estão sendo desbravadas e em breve devem estar consolidadas.

Com procedimentos e atuação preventiva indispensáveis para garantir a produtividade e continuidade operacional, controlando e aumentando a vida útil de seus equipamentos, a inspeção de equipamentos é hoje imprescindível para garantia da continuidade das operações, segurança da sociedade e também para preservação do meio ambiente.

## Bibliografia:

- Hewison, Christian H. (1983) Locomotive and Boiler Explosion;
- McEwen, Alan (2009) Historic Steam Boilers Explosion;
- Camonico, Domenic. (2010) The History of ASME Boilers and Pressure Vessel Code;
- Chainho, José A. Pereira. (2011) A história da Inspeção de equipamentos;
- Guide for Inspection of Refinery Equipment, Chapter 1, Introduction - American Petroleum Institute - 1976.



[2] O Beud A  
aille F vati  
Retirar  
lU iversite

peuvent devenir des schémas pour l'action, si c'est ainsi que vous interprétez la notion de « figuration ». Mais ce n'est pas mon problème, sauf quand je suis moi-même acteur. Je n'hésite pas alors à mobiliser mes instruments analytiques.

Comme dans mon intervention dans le débat actuel sur l'Université ou les instruments de la sociologie économique qui ont été précieux pour comprendre et en conséquence pour tenter de peser sur les choses.

Le P... En quoi consisterait alors une critique renouvelée du travail? Mon sentiment est qu'elle serait d'abord à vous lire: une sociologie des façons de produire. Contre H. Arendt, le travail peut contribuer à former le citoyen, à nourrir une culture publique. Selon suit votre définition générique du travail comme rapport opératoire au monde, le cours l'activité est bien propice à l'émergence, sinon de points de vue réfléchis, du moins de bribes de solidarités, de valorisations partagées. Mais pourrait-on imaginer qu'elles concernent un jour, surtout que les relations de travail ou hiérarchiques, notre rapport à nous-mêmes, la manière dont nous le transformons en nous à travers les extensions de nos activités que sont les dispositifs techniques.

PHILOSOPHIES

Le travail

Economie et physique

1780-1830

F V... L'éprouve toujours des réserves vis-à-vis du terme, le « critique » quant à l'objet de la critique n'est pas évident. On peut critiquer une théorie, comme quand Marx critique l'économie politique pour fonder sa propre conceptualisation des rapports sociaux. On peut critiquer une forme sociale par exemple le salariat, mais on est alors dans une sociologie normative. Que signifie critiquer le travail? C'est là, pour moi, dans le sillage de la définition de Marx, une dimension universelle de la vie humaine. On peut, de même, critiquer la prostitution, mais que signifierait critiquer la sexualité? Si maintenant « critique » désigne le regard instrumentel qui sait prendre la bonne distance pour décrire un phénomène, la « critique » pensée critique est un pléonasmisme. Toi, te pense est « critique ». J'espère en tous cas que la mienne l'est.



Le problème de cette dimension anthropologique du travail est qu'elle apparaît sur un mode individuel à travers nous dit Gilbert Simondon. L'expérience de la

# o trabalho: economia e física 1780 | 1830

## Parte 4: Coriolis, “do cálculo do efeito das máquinas” (1829)

Autor: François Vatin

Tradução: Agamenon R. E. Oliveira

Do cálculo do efeito das máquinas de Coriolis é dez anos posterior a reedição de Bélidor, por Navier. Ele foi, como vimos, largamente concebido independentemente do aporte de Navier, pois que teve por origem as notas litografadas redigidas desde 1819. A redação final de 1829 parece, contudo, em sua argumentação técnico-econômica, muito inspirada pelo texto de Navier. Mas, como veremos, Coriolis não usa o raciocínio de Navier; ele tenta, ao contrário, ultrapassar as debilidades da demonstração de seu predecessor.

Diferentemente da nota de Navier, que não era senão um esboço, a obra de Coriolis é um verdadeiro tratado destinado, em particular, aos politécnicos. Seu objetivo é o de articular a teoria das máquinas com a mecânica racional de Newton e Lagrange. É por causa da diferença com Navier que Coriolis introduz de início o conceito de trabalho com seu formalismo físico antes de abordar sua significação econômica. Esta apresentação assegura uma maior clareza na exposição para um leitor moderno. Na prática, a demonstração física é menos embaralhada por considerações econômicas. Não poderíamos concluir pelo que vimos até agora, que Coriolis teria renunciado a problemática físico-econômica de Coulomb e Navier. Se ele consegue, de forma diferente dos outros dois, separar a argumentação física da argumentação econômica, é que a resposta a questão de fundo lhe parece dada: o “trabalho” é bem a justa medida da ação das máquinas e o “rendimento” em “trabalho útil” fornece sua eficiência.

Nossa apresentação da formulação físico-matemática do conceito de trabalho por Coriolis será relativamente rápida. Nós insistiremos sobre o questionamento físico-econômico que daí decorre. Em um primeiro ponto, nós recolocaremos o conceito de trabalho no projeto geral da obra de Coriolis; em um segundo ponto nós veremos como este conceito pode, segundo ele, fornecer um instrumento de medida econômica; em um terceiro ponto, enfim,

nós veremos os limites de tal modelo, tais que eles se depreendem da própria análise de Coriolis.

### A mecânica racional e o trabalho

O objetivo no qual se fixa explicitamente Coriolis é fundar a ciência prática das máquinas usando os métodos e conceitos da mecânica racional. “Eu me proponho, nesta obra, de apresentar todas as considerações gerais que tendem a esclarecer as questões sobre a economia do que chamamos comumente de a força ou potência mecânica, e de fornecer os meios de reconhecer facilmente quais são as vantagens e os inconvenientes de certas disposições na construção de uma máquina. (...)”

Os tratados especiais que temos publicado até o presente sobre as máquinas não tem desenvolvido a teoria do emprego dos motores, que parece dever entrar mais naturalmente no ensino da mecânica racional. Por outro lado, as obras que tratam desta ciência não contêm quase nada sobre esta teoria” (p. 1).

Antes de abordar a ciência das máquinas propriamente dita, Coriolis apresenta então as relações entre força e movimento dentro do quadro da mecânica racional ao se referir explicitamente às leis de Newton. Ele vem a definir a noção de velocidade virtual, pois é o momento virtual que ele propõe renomear “trabalho virtual elementar” <sup>1</sup>. Ele passa então à teoria das

<sup>1</sup> O conceito de “velocidade virtual” é fornecido pela estática. As velocidades virtuais são os deslocamentos infinitesimais dos pontos de um sistema material compatíveis com as forças de vínculo (por exemplo, seguindo a lei da alavanca, as velocidades virtuais são proporcionais aos comprimentos dos braços da alavanca). Os “momentos virtuais elementares” ou “trabalhos virtuais” são os produtos dessas velocidades virtuais pelas forças de inércia aplicadas aos pontos no eixo do movimento (sendo na mesma direção: trabalho positivo; seja na direção oposta: trabalho negativo). O “trabalho elementar” é então o produto do movimento infinitesimal de um ponto pela força instantânea aplicada neste ponto. Por integração obtemos o trabalho aplicado em um ponto entre dois instantes dados, produto da distância percorrida por

máquinas ao considerar senão os movimentos compatíveis com as forças de vínculo de uma dada máquina.

Considerando o conjunto das forças aplicadas sobre um sistema de pontos em movimento, ele distingue as que formam um ângulo agudo com a direção do movimento, que vão no sentido do movimento (forças motrizes) e aquelas que formam um ângulo obtuso e se opõem ao movimento (forças resistentes), e em seguida os trabalhos elementares respectivamente devido as forças motrizes e as resistentes <sup>2</sup>. Ele definiu, então, a integral dos trabalhos elementares durante um espaço de tempo o que lhe permitiu apresentar a equação das forças vivas: trabalho devido às forças motrizes - trabalho devido às forças resistentes = variação das forças vivas <sup>3</sup>. Coriolis, a esta altura, define perfeitamente o conceito físico de “trabalho” no sentido atual. A ele só restava agora explicar o interesse pela economia das máquinas, retornando aos problemas postos por Navier.

Seria necessário também justificar a escolha do termo “trabalho”, introduzido de partida de maneira totalmente arbitrária em lugar das diferentes expressões empregadas por seus predecessores (“efeito dinâmico”, “potência mecânica”, “quantidade de ação”): “Essas diversas expressões, muito vagas, não parecem apropriadas a se expandirem facilmente. Nós proporemos a denominação de trabalho dinâmico, ou simplesmente trabalho. (...) Este nome não fará nenhuma confusão com alguma outra denominação mecânica; ele parece muito apropriado de dar uma justa ideia da coisa, ao conservar sua aceção comum no sentido de trabalho físico. Nós associamos a palavra trabalho, neste sentido, à ideia de um esforço exercido e de um caminho percorrido simultaneamente: pois não diríamos que existe trabalho produzido, desde que exista somente uma força aplicada a um ponto imóvel, como em uma máquina em equilíbrio; não aplicaríamos não mais a expressão de trabalho a um deslocamento exercido sem resistência vencida. Este

este ponto pela força aplicada na direção do movimento. Para uma apresentação simples, podemos nos reportar a excelente obra de Paul Sandori, Pequena lógica das forças, op. cit.

<sup>2</sup> O conjunto desta teoria já está presente em Lazare Carnot, no qual manifestamente Coriolis se inspira. Encontraremos uma análise estimulante em C. G. Gillispie, op. cit.

<sup>3</sup> Ele não emprega, então, ainda, as expressões trabalho motor e trabalho resistente, que ele definirá, após ter apresentado o princípio da transmissão do trabalho, como as integrais dos trabalhos elementares respectivamente devido as forças motrizes e as resistentes sobre o intervalo de tempo considerado.

nome é, então, muito apropriado para designar a reunião desses dois elementos, caminho e força” (p. 15 e 17) <sup>4</sup>.

Se o termo “trabalho” lhe parece o mais adaptado, ele não é unicamente por razões negativas (evitar as confusões que poderiam fazer nascer os outros termos), mas também por razões positivas: a conformidade do conceito com o sentido comum no sentido do trabalho físico”. Isto é, no sentido do esforço produtivo de um homem ou de um animal.

Coriolis se guarda bem, contudo, de entrar na complexidade do problema econômico subjacente, claramente formulado por Coulomb, e que tinha após ele sido colocada algumas dificuldades por Navier: O que é o trabalho no sentido comum? O esforço produtivo total (a fadiga produzida) ou o resultado deste esforço (o produto)? Somente quando ele terminar sua apresentação física, expondo o princípio da transmissão do trabalho é que poderá deduzir a noção de efeito útil, e então retornará a essas questões.

Ao definir o princípio da transmissão do trabalho, Coriolis se situa dentro do mesmo quadro hipotético que Navier: o do movimento uniforme ou cíclico, onde consideramos como desprezíveis as variações da força viva, mas esta hipótese é aqui claramente apresentada como um caso particular da mecânica racional. Temos então igualdade de trabalho motor e de trabalho resistente: “Este enunciado reafirma o princípio mais importante da mecânica; podemos denominá-lo princípio da transmissão do trabalho, pois o efeito, quando consideramos o movimento após o surgimento das velocidades até a sua extinção, o trabalho produzido pelas forças motrizes, isto é, por aquelas provenientes do motor, se reencontram por completo com aquelas de toda espécie de forças resistentes” (p. 18).

Este princípio, já posto por Lazare Carnot, é estritamente físico. É a grandeza abstratamente definida como “trabalho” que se conserva, no sentido de que se a variação das forças vivas é nula ou desprezível, a totalidade do trabalho motor é absorvido pelo trabalho resistente. Contudo, uma parte desse trabalho é dispendido em atritos, que são exteriores à resistência que queremos vencer: “Resulta disso o que temos dito até o presente, que

<sup>4</sup> É necessário notar a preocupação pedagógica de Coriolis, que demonstra um grande cuidado com a escolha dos termos e das unidades. Isto o conduz também a exprimir a “força viva” por  $\frac{1}{2}mv^2$  como na tradição, a fim de que esta grandeza seja plenamente compatível com a medida do trabalho. Como o termo “trabalho”, esta nova definição da “força viva” (energia cinética) vai se impor na física moderna.

aquilo que chamamos de trabalho é uma quantidade que podemos aumentar pelo emprego das máquinas (...). A porção desta quantidade que as máquinas produzem é ainda mais parecido com aquelas que recebemos, cujos atritos são menos consideráveis. Se supomos que podemos construir máquinas sem atrito, poderíamos dizer então que o trabalho é uma grandeza que nunca se perde” (p. 26).

Assim, se fisicamente o trabalho se conserva, economicamente uma parte é perdida. O princípio da transmissão do trabalho, de início definido de um ponto de vista físico, toma agora uma significação econômica, não sem uma mudança conceitual discreta, mas consequente. Em teoria, com certeza o trabalho se conserva, mas praticamente é necessário deduzir as perdas devidas aos atritos e aos choques dentro da máquina. Mais genericamente, segundo a terminologia moderna, o trabalho se “degrada” ao realizar seu efeito produtivo; a força viva se dissolve progressivamente nos choques e atritos, que sejam úteis, ou melhor, intrinsecamente ligados a ação que vamos realizar, ou inúteis. Em resumo, o processo é entrópico, e é por isto que ele é econômico. O trabalho é uma mercadoria rara e como consequência econômica, precisamente por que ele tende a se perder ao circular. É necessário então regular sua circulação para uma perda menor possível, levando-o exatamente ao lugar onde haja necessidade, lá onde a força viva será exclusivamente extinta pelo trabalho resistente correspondente ao efeito que queremos utilizar.

O princípio da transmissão do trabalho não é mais um resultado teórico-experimental da física, mas uma norma econômica; o objetivo jamais atendido que deve se fixar o construtor e usuário de máquinas. Coriolis, para exprimir esta ideia, abandona a precisão do enunciado físico, para se livrar de uma metáfora hidráulica de um impressionante lirismo:

*Para se representar com facilidade a transmissão de trabalho no movimento das máquinas, podemos o comparar com um fluido que se espalha nos corpos ao se comunicar de um a outro pelos pontos de contato como lugar de passagem; assim se dividindo em várias correntes, no caso onde um corpo pressiona vários outros; seja formando a reunião de várias correntes, no caso de muitos corpos pressionando um só. Este fluido poderá se acumular com outro em certos corpos e ai ficar em reserva até que de novo contate ou de novos contatos com o escoamento maior saia em uma maior quantidade. Este trabalho de reserva, que nós assimilamos aqui a um fluido, é o que nós chamamos a força viva; ela depende, como dizemos, das velocidades que possuem os corpos. Continuando esta comparação,*

*uma máquina no sentido que damos ordinariamente a esta palavra, é um conjunto de corpos em movimento dispostos de maneira a formar uma espécie de canal por onde o trabalho toma seu curso para se transmitir o mais integralmente possível sobre os pontos onde temos necessidade. Uma vez produzido pelo motor, o trabalho passa sucessivamente de um corpo a outro; ele pode se acumular, se dividir ou se juntar. Nós mostraremos mais a frente que ele se perde pouco a pouco pelos atritos e os choques de corpos, ou mesmo que ele vai se espalhar pela terra, onde ele se torna insensível ao se estender indefinidamente (p. 27).*

Tendo dado ao princípio de transmissão do trabalho uma significação econômica, Coriolis pode voltar a questão posta por Navier, a da avaliação econômica dos motores: “Nós vamos mostrar agora que ela resulta das propriedades das máquinas relativamente ao trabalho, que esta quantidade serve de base a avaliação dos motores no comércio; que é o trabalho que devemos procurar economizar, e que é a esta quantidade que se reportam principalmente todas as questões de economia no emprego dos motores” (p. 27). É esta questão que nós vamos desenvolver em seguida neste capítulo. De início, veremos como Coriolis aprofunda a teoria da “moeda mecânica” de Navier; em uma segunda etapa, veremos que ele mostra por si só os limites, colocando sem insistir, questões de fato fundamentais, tanto de um ponto de vista físico quanto de um ponto de vista econômico.

## Princípio de transmissão do trabalho e norma de valor

Coriolis funda sua análise econômica sobre uma concepção da produção análoga a de Navier: toda produção pode se reduzir a uma ação mecânica que se opõe a resistência dos corpos, consistindo em deslocá-los ou deformá-los, seja em um “trabalho” no sentido físico do termo: “Nós não produzimos nada do que é necessário a nossas necessidades, senão deslocando os corpos ou modificando sua forma; o que não pode se fazer na superfície da terra senão deslocar resistências, e exercer certos esforços no sentido do movimento. É então uma coisa útil a faculdade de produzir assim o deslocamento acompanhado da força no sentido do deslocamento, isto é, a faculdade de produzir a quantidade que nós chamamos trabalho” (p. 27).

Esta concepção da produção é, como vimos, conforme o pensamento econômico clássico, e Coriolis parece consciente de se situar sobre o terreno dos economistas. Ele emprega com precisão os conceitos que parecem inspirados em Jean-Baptiste Say. É muito difícil de saber se ele tinha lido este autor ou

algum outro economista contemporâneo, mas sua expressão econômica não é “ingênua”. Constatando que a “faculdade de produzir trabalho” é limitada em um tempo e um lugar dado, deduzimos que se trata de uma mercadoria, utilizando a formulação precisa dos economistas, muito “útil” e “rara”: “Sendo que a tiramos dos animais, da água ou do ar em movimento, da combustão do carvão, da queda dos corpos, ela é limitada em cada tempo, por cada lugar; ele não se criou pela vontade. As máquinas não fazem senão empregar e economizar o trabalho, sem poder aumentá-lo; desde então, a faculdade de produzir se vende, se compra e se economiza, como todas as coisas úteis que não estão em extrema abundância” (p. 28).

Um ponto merece ser enfatizado. Para Coriolis, não é o trabalho que é uma mercadoria, mas a faculdade de produzir (que ele chama igualmente “faculdade de movimento”). Ele emprega esta expressão de maneira sistemática no curso desta passagem, o que torna muito difícil pensar que se trataria de uma formulação incidental. Do ponto de vista físico, certamente está a ideia de “energia”, que permite conceber no mesmo movimento de pensamento a força dos homens, a dos animais, do ar, da água, do fogo ou de todo outro “motor”. Mas uma vez mais, o conceito físico moderno esconde a argumentação econômica. A “faculdade de produzir trabalho” corresponde com efeito ao que Say chama um “serviço produtor” e o que os neoclássicos denominaram mais tarde como “fator de produção”. Nós estamos na economia do produtor, que analisa seu dispêndio. O que ele avalia e compra é a potencialidade de produção, e não a produção realizada. Ou para Coriolis, como para Navier, o trabalho é primeiro uma expressão do produto, ou pelo menos o resultado de um processo técnico-econômico. Ele não pode significar a priori ao mesmo tempo o serviço produtor<sup>5</sup>.

Distinguindo explicitamente a “faculdade de produzir o trabalho” do “trabalho” ele próprio. Coriolis tende a desfazer a confusão que nós temos visto na obra de Navier entre os dois sentidos do dispêndio e do produto do conceito econômico de trabalho. Esta precisão é ainda mais considerável que esta confusão, que estava presente igualmente no pensamento econômico da época. Era necessário esperar Marx para encontrar claramente posto

<sup>5</sup> Quando nós dizemos que o trabalho exprime o produto, não se trata forçosamente do produto final destinado ao mercado. Toda etapa intermediária do processo de produção é um “produto” neste sentido, ao mesmo tempo em que ele é um “dispêndio” para a maquinaria de apoio. É assim, notadamente, do trabalho total produzido pelo motor para o conjunto da máquina. É precisamente por esta razão que o “trabalho” poderá servir de medida comum para o produto e o dispêndio.

na teoria econômica uma distinção, análoga a de Coriolis, entre o “trabalho” e sua “potencialidade” ou “força de trabalho”. Tornaremos claro rapidamente este ponto sobre o qual nós retornaremos no capítulo seguinte.

Como em Coriolis, é tanto expressão da produção (trabalho em ação) como o trabalho em Marx medida do valor; o princípio da equivalência do trabalho é fornecido pela “concorrência dos produtores”, que reina na “sociedade mercantil simples”. Não é senão a posteriori que o dispêndio (trabalho-mercadoria) pode ser ele mesmo avaliado em trabalho (valor da força de trabalho). As duas construções aparecem então extremamente similares; o “trabalho” físico ocupa a mesma posição no dispositivo teórico de Coriolis que o “trabalho abstrato” na de Marx.

O fundamento da equivalência é quanto a ele evidentemente diferente. Em Coriolis, este não é a regra da troca simples, mas o “princípio da transmissão do trabalho”, que fornece a norma de equivalência além da heterogeneidade dos processos concretos; é a existência das máquinas que permite a utilização prática da medida: “Se nós não tivéssemos as máquinas a nossa disposição, dois deslocamentos diferentes seriam duas coisas de natureza diferente que não admitiriam em geral nenhuma base matemática em sua avaliação: será desses deslocamentos como de muitas coisas úteis, cujos valores não são estabelecidos em geral sobre os cálculos matemáticos. Mas as máquinas, como veremos, fornecem o meio de dispor dos deslocamentos como base de avaliação análoga àquelas que temos para as quantidades de uma mesma matéria” (p. 28).

O princípio da transmissão do trabalho, definido de início do estrito ponto de vista físico, depois reformulado economicamente, permite a Coriolis retomar com um grande rigor a demonstração físico-econômica apresentada por Navier. Navier, que construiria seus conceitos de acordo e na medida de sua demonstração, devia, como vimos, primeiro fazer “como se” o trabalho se conservasse na circulação maquinica para mostrar em seguida que seria necessário deduzir uma perda. Coriolis pode, ao contrário, claramente aplicar o princípio da transmissão como um modelo teórico fundado sobre a mecânica racional, ao apresentar explicitamente as condições requeridas para que ele se aplique como hipóteses simplificadoras. Apresentaremos rapidamente a argumentação de Coriolis sobre este ponto, que no essencial retoma a de Navier.

Para aplicar comodamente o princípio de transmissão do trabalho, Coriolis toma, a título de hipótese

simplificadora suscetível de ser abandonada posteriormente, o modelo de uma máquina com rendimento igual a um, isto é, onde o conjunto do trabalho resistente é assimilável ao efeito útil. Segundo a hipótese geral dos mecanicistas, a produção resultante de uma ação mecânica sobre a matéria pode se exprimir em quantidade de trabalho: é o efeito útil. Mais precisamente, o efeito útil, calculado em trabalho, é proporcional a toda medida física (volume, peso, comprimento...) da produção. Ou, em uma máquina com rendimento igual a um, o efeito útil é igual ao trabalho resistente, que ele mesmo, na hipótese do movimento uniforme, é igual ao trabalho motor. Toda produção, seja qual for sua natureza, é proporcional a certa quantidade de trabalho motor, ou dito de outra forma, uma mesma “faculdade de movimento” empregada de duas maneiras diferentes, gerará produções equivalentes sob o critério do trabalho aqui adotado. O princípio da transmissão maquinica assegura, então, uma medida comum das produções.

O trabalho, sendo uma expressão satisfatória da produção, pode-se comparar economicamente os motores pela quantidade de trabalho que eles podem produzir; é suficiente conceber uma máquina suscetível de transformar o trabalho motor em certo efeito útil: “Se queremos comparar em conjunto duas faculdades de movimento, será suficiente conceber que se tenha construído máquinas com a ajuda daquelas que se possa assim aplicar essas faculdades a mesma fabricação, por exemplo, a moagem do trigo... é claro que o valor das duas moagens será para o número de libras de trigo moído; e como esses últimos são sensivelmente proporcionais às quantidades de trabalho motor produzido em cada máquina, segue-se que as duas faculdades de movimento terão valores proporcionais aos da quantidade de trabalho que elas podem produzir nessas máquinas” (p. 29).

A esta altura de sua demonstração, Coriolis entende renunciar às hipóteses simplificadoras adotadas anteriormente. Ele cita duas; assim ele explicitou a primeira: o rendimento igual a um, mas passou em silêncio na segunda, que é estritamente econômica; ela consiste em assimilar o custo da utilização de uma máquina somente ao trabalho motor dispendido. Essas duas hipóteses podem posteriormente serem simplificadas ao introduzir, a título de corretivo, os coeficientes de proporcionalidade: “É fácil de ver que essas hipóteses não são absolutamente necessárias, e que o rigor das conclusões subsiste ainda se admitimos somente: 10. Que o trabalho resistente devido ao efeito útil, no lugar de formar todo o trabalho resistente que é produzido, seja

somente em proporção constante com aquele, isto é, que as perdas devidas ao atrito e a qualquer outra causa sejam proporcionais ao trabalho motor; 20. Que os custos de estabelecimento e de manutenção sejam também proporcionais a este mesmo trabalho motor” (p. 30).

Até aqui como pudemos ver, Coriolis seguiu plenamente Navier, e não somente foi mais preciso de um ponto de vista físico, mas também econômico. O “princípio da transmissão do trabalho” permite considerar o trabalho como uma medida comum das produções sendo, segundo a expressão de Navier, como uma “moeda mecânica”. Poderemos medir com esta moeda o produto realizado (efeito útil), mas também o dispêndio (trabalho total) e calcular um rendimento. Este rendimento é o instrumento adaptado para comparar os motores, para pouco que se aceite as hipóteses de proporcionalidade do trabalho motor dispendido, das perdas por atrito e choques e dos custos para manter as máquinas. Mas Coriolis vai nos mostrar agora que o problema é mais complexo do que parece, pois, de uma parte, não pode sem reserva admitir uma medida econômica que elimine o tempo e, por outro lado, a avaliação em trabalho do efeito útil é discutível, de fato em certos casos totalmente impossível. Esses problemas de aparência estritamente econômica revelam de fato questões físicas importantes, que introduzem a termodinâmica.

## O tempo, o efeito e o valor

Estabelecendo o “trabalho” como o instrumento de comparação econômica dos motores, Coriolis retoma as conclusões de Navier, mas ele as recoloca em um contexto teórico sensivelmente diferente. Para Navier, o trabalho era primeiramente uma grandeza econômica, e ele mostrou como ela podia ser fisicamente medida; a significação econômica da medida em trabalho era então ontológica. A virada teórica operada por Coriolis, que coloca em destaque uma definição estritamente física do trabalho, lhe permite, em compensação, considerar a interpretação econômica desse conceito como pragmática e aproximada. Ele se livra nesse sentido de uma curiosa analogia entre as medidas em trabalho e em volume, que ele reutilizará em muitas ocasiões:

*É do trabalho para avaliar os motores, como de muitos elementos de medidas geométricas que supõem também abstrações; na prática, não fornecem mais do que aproximações. Por exemplo, quando avaliamos o valor de certos corpos ao medir seus volumes, como fazemos para a pedra e para a madeira, admitimos*

*que com um corpo que tem um volume de duas unidades podemos usar dois volumes unitários. Ou para concretizar esta concepção, é necessário serrar ou esculpir esse corpo, e perder uma parte devido a essa operação. Essa perda não estando em proporção com o volume, a rigor a relação geométrica não subsiste mais para a avaliação em dinheiro. Sob esta relação, existe uma analogia entre o volume para a avaliação de certos corpos, e o trabalho para avaliação dos motores. As perdas do trabalho devido aos atritos, nas máquinas, correspondem às perdas de matéria devido a divisão. Quanto às máquinas que serão necessárias para aplicar diferentes motores à fabricação de diferentes quantidades de uma mesma espécie de obra, e para comparar assim esses motores pelo trabalho que eles podem produzir, os custos de estabelecimento e de manutenção que elas exigem correspondem também ao que custará em mão-de-obra, em ferramentas ou em máquinas, para efetuar as divisões de matéria que traz de volta os diferentes volumes aos volumes unitários servindo de comparação (p. 31).*

Este excerto é seguramente muito obscuro. Coriolis nos diz que a medida dos volumes, se ela pode fisicamente ser considerada como aditiva, não é economicamente, pois que sua colocação em prática pela divisão induz um custo econômico e causa uma perda de matéria. Dito de outra maneira a aditividade suposta pela medida do volume é completamente teórica, pois sua colocação em prática causa um processo irreversível e entrópico. Da mesma forma, as comparações entre quantidades de trabalho não podem ser absolutas, pois elas necessitam uma aparelhagem mecânica fonte de atrito; se seguimos a analogia do volume, essas perdas devidas ao atrito introduziriam um viés, pois elas não seriam proporcionais ao trabalho produzido; caso contrário, a realização prática da medida necessita a aparelhagem adaptada, sendo um custo econômico. Como para o volume, não haveria medida absoluta de trabalho, perfeitamente reversível e aditiva.

Mas Coriolis utiliza a analogia a contrario e é lá que seu raciocínio se torna um pouco especioso: pois que, apesar de seu caráter criticável, podemos admitir o caráter reversível e aditivo da medida em volume, podemos fazer muito da medida em trabalho. Ou o problema nos parece mais difícil, pois se podemos efetivamente admitir, inclusive de um ponto de vista econômico, uma medida de volume independente do tempo, não é da mesma forma que a do trabalho. Todo trabalho se desenvolve com efeito no tempo e ele não é senão uma operação do pensamento inteiramente abstrato que construímos uma medida onde o tempo é eliminado. A aditividade da medida em trabalho é, neste sentido, muito discutível. A

questão, que pode ser considerada como secundária na ótica da mecânica clássica, é em compensação crucial em economia, como em outro lugar na termodinâmica.

Coriolis é, além disso, bem consciente deste problema, que já encontramos evocado por Navier. Ele o resolve por um argumento que se assemelha fortemente àqueles muitas vezes utilizados pelos economistas para contornar as questões delicadas. Certamente, ele reconheceu que o tempo empregado em certo trabalho é um dos critérios de comparação dos motores, mas este fator pode ser desprezado; ele releva, dirão os economistas clássicos, o “valor de uso” e não o valor de troca, que só pode ser o objeto de uma medida racional:

*Não será inútil responder a uma dificuldade que temos algumas vezes com relação a medida do valor do deslocamento pelo trabalho, tal qual nós definimos: dizemos que o tempo é também um elemento do valor do deslocamento, e que este último não deve ser considerado independentemente para mais ou para menos presteza com que podemos operar. Sem dúvida, em muitos casos, é mais ou menos útil que certo efeito mecânico, isto é certo deslocamento, ocorreu mais ou menos prontamente; mas este gênero de utilidade pertence a um número entre os que não são suscetíveis de medida fixa. Desde que compremos, consultamos sua conveniência face a esta relação como face a muitas outras, sem que o cálculo seja tomado dentro destas circunstâncias do valor. Dois deslocamentos semelhantes, como o transporte de dois pesos, executados em tempos diferentes, são duas coisas úteis de natureza distinta, que sob a relação do tempo, não admitem comparações geométricas (p. 31).*

O problema desagrada manifestamente a Coriolis, que não se detém neste argumento e tenta justificar de maneira mais profunda a eliminação do tempo da medida do trabalho por um raciocínio análogo ao que encontramos em Navier:

*Observemos, por outro lado, que quando se trata de operar com uma máquina certa quantidade de deslocamentos semelhantes, como não custa mais em muitos casos de operá-los simultaneamente senão sucessivamente, não se pode fazer entrar o tempo como elemento de valor dessas quantidades de deslocamentos operados. Suponhamos, por exemplo, que nós nos propomos a empregar dez homens para elevar pesos: se desejamos em seguida operar mais prontamente esta elevação, nós podemos sempre empregar simultaneamente vinte homens; e sem que isto custe mais da jornada, o mesmo efeito será efetuado em um tempo pela metade médio. Esta*

*diminuição do tempo, podendo assim ser obtida à vontade, não pode se pagar em geral. (p. 31-32)*

O argumento é por demais explícito: a duração da realização de uma tarefa não pode ser um elemento de seu valor, pois que podemos reduzi-la à vontade sem aumentar seu custo <sup>6</sup>. O trabalho-moeda mecânica é então uma grandeza independente do tempo, e é porque ela é perfeitamente aditiva. Já observamos no capítulo precedente, como Ricardo colocou em causa, em seu próprio campo teórico, esta tese, e que torna a desprezar o custo da imobilização do capital.

Obviamente, isto não custa mais do que a “jornada” de empregar dez homens durante dois dias ou vinte homens durante um dia, mas no segundo caso é necessário dispor imediatamente da totalidade do pagamento, do que no primeiro caso, que pode ser repartido ao longo dos dois dias. Se levamos em consideração, ao calcularmos a taxa de lucro, a duração da imobilização do capital, as quantidades de trabalho não são mais adicionáveis. Este argumento, empregado por Ricardo, mesmo quando o capital imobilizado não compreende que o dinheiro do pagamento (fundo dos salários) é evidentemente ainda mais pertinente quando o capital é investido nas máquinas <sup>7</sup>.

Coriolis não hesita em retomar sua tese no caso da produção das máquinas:

*Suponhamos ainda que consideremos uma máquina a vapor destinada a laminar ferro. Se temos o interesse de produzir muito ferro em um dia, nada nos impedirá de empregar simultaneamente duas máquinas semelhantes; e então, sem que isto custe mais carvão para um peso determinado de ferro, nós produziremos*

<sup>6</sup> Assinalemos que Coriolis emprega com rigor uma argumentação econômica para chegar a um resultado extremamente discutível. Seu propósito volta a dizer que o tempo, infinitamente abundante, será somente valor de uso e não valor de troca (terminologia clássica), ou (terminologia neoclássica) que sua utilidade marginal será nula. Ou o bom senso nos diz que na vida humana o tempo constitui o bem raro por excelência. Todas as medidas econômicas incluem então uma dimensão temporal, que, pelas necessidades da formalização, procuramos muitas vezes eliminar. Da mesma forma o “trabalho, moeda econômica” não pode ontologicamente ser uma grandeza independente do tempo. A resolução teórica deste problema, do ponto de vista da física, reside na termodinâmica. Coriolis adota aqui um pensamento pré-físico, em grande parte análogo a dos economistas: ele é compartilhado entre o bom senso, que convida a colocar o tempo no cerne de sua análise, e o formalismo, que o pressiona a retirar esta grandeza reativa a toda medida aditiva.

<sup>7</sup> D. Ricardo, Dos princípios da economia política e do imposto, Paris, Calmann-Levy, 1970, chap. 1, seção IV. Relembramos que para Ricardo e os economistas clássicos, Marx inclusive, o salário constitui uma fração do capital investido pelo empresário.

*em um dia com duas máquinas aquilo que uma sozinha produzirá em dois dias. Isto porque temos a faculdade de diminuir o tempo que seria necessário para produzir certa fabricação, sem que haja nas despesas uma diferença sensível, o tempo não sendo em geral um elemento que se possa fazer entrar nas estimativas do valor do deslocamento; ou se ele pode entrar de qualquer forma, é completamente por fora do trabalho”. (pg. 32).*

O argumento é incontestavelmente fraco. Com certeza, o custo do carvão é o mesmo (se considerarmos desprezível o capital imobilizável no estoque de combustível), mas não a despesa total, que compreende em um caso de amortização de uma máquina e em outro o dos dois.

Coriolis poderia também avançar dizendo que esta questão é independente daquela do “trabalho”, ao se refugiar por trás da definição estritamente física do trabalho que inicialmente foi dado. Mas este argumento será contraditório com o objetivo que ele persegue de legitimar economicamente o conceito de trabalho como instrumento de medida do valor; é justificado de se interrogar sobre este terreno econômico. Ele tenta, por outro lado, um último argumento, inteiramente revelador da concepção mais “substancial” das mercadorias, dominante na economia do começo do século XIX:

*A distinção entre o tempo e o trabalho, na avaliação dos motores, é em tudo semelhante aquilo que deve ser feito na compra de certas matérias primas, entre a quantidade que compramos e o tempo que será empregado para entregá-la. Qualquer que ele seja com frequência é muito útil o fornecimento de uma mercadoria que se efetua pouco a pouco, ou mesmo por dia, seja terminado em oito dias no lugar de ser em um mês, durante o qual não impede que a quantidade desta mercadoria não forme sempre o elemento principal do mercado, e aquele que não poderá omitir de enunciar dentro do contrato de venda. (pg.32).*

A insistência com que Coriolis se põe a defender esta tese não nos parece testemunhar nenhuma fraqueza de sua análise econômica, ao contrário. Ele demonstra uma grande capacidade retórica, mas também uma clara consciência do problema, que interfere muito neste primeiro capítulo introdutório, no qual, se levado muito a sério, pode arruinar o escopo econômico do conceito de trabalho. Acontece, de qualquer forma, o “advogado do diabo” contra suas próprias apreensões. Nós queremos pôr à prova o fato que no último capítulo de sua obra, então que o conceito de trabalho está bem assentado, ele retoma esta questão, defendendo um ponto de vista quase

inverso. Ele entende, com efeito, agora reduzir os ardores de seus leitores, mostrando os limites da significação econômica da medida do trabalho:

Nós entendemos que não devemos comparar os dispêndios devido às quantidades de trabalho que, não somente, sejam os mesmos, mas que sejam produzidos nos pontos onde é igualmente fácil de os empregar com o mesmo uso. Desde que compreemos o trabalho, é necessário ter muito cuidado de precisar em qual lugar ele será entregue, e qual a parte da máquina que o produzirá. O trabalho dinâmico tem em comum com todas as outras mercadorias, que não é somente a quantidade que pagamos, mas também a faculdade de usá-lo. Não poderíamos tomar ao pé da letra o que disse Montgolfier: A força viva (o trabalho) é o que se paga. Nós repetiremos o que dissemos no primeiro capítulo, que o trabalho, sendo o principal elemento do que se paga no movimento, e o único pertencente ao domínio das medidas exatas, não é somente o que atribui valor ao movimento. É, portanto, o volume, o principal elemento do valor de diversas matérias úteis, também não sendo o único que consideramos para estabelecer os valores dessas matérias (p.232).

Neste último capítulo, Coriolis demonstra um grande espírito crítico com relação ao modelo físico-econômico retomado de Navier. Ele repousa, como vimos, sobre o princípio de uma medida comum em “trabalho” do produto líquido (o efeito útil) e da despesa (o trabalho total). O objetivo técnico-econômico é então de otimizar o rendimento (trabalho útil/trabalho total). Este modelo supõe: de uma parte que o efeito útil (no sentido econômico) pode se medir em trabalho e se distinguir claramente do trabalho perdido, e, de outra parte, que o rendimento energético constitui o objetivo prioritário do empresário. Coriolis mostra, ao precisar a noção do efeito útil e que as diferentes formas deste último podem permanecer e essas hipóteses não são sempre economicamente pertinentes:

*Resta-nos considerar, sob a relação da economia do trabalho, a terceira parte das máquinas, isto é, aquela que opera imediatamente o efeito útil... Os efeitos mecânicos das máquinas consistem: 1°. Na elevação dos pesos; 2°. Na quebra ou alteração da forma dos corpos; 3°. Nos atritos a ultrapassar para operar o deslocamento lento dos corpos; 4°. Nos transportes rápidos, isto é, na produção de velocidade (p.238).*

É bem verdade que o quarto tipo de efeito útil é que colocará os problemas mais graves. Para os três primeiros, o modelo de Navier é aproximadamente adaptado, mesmo se algumas precauções são

tomadas em consonância com o bom senso. Para aplicar, literalmente, o modelo, seria necessário poder distinguir claramente o trabalho útil daquele dispendido em pura perda. Na prática, tal distinção é muito relativa, tanto suas ligações entre eles como as diferentes consequências de um movimento mecânico. Também é economicamente um pouco arbitrário se falar de “trabalho perdido”:

*Os três primeiros efeitos absorvem completamente por eles mesmos certa quantidade de trabalho, que não pode mais reaparecer, ao menos pelo momento. Assim, os corpos quebrados ou deformados, os atritos vencidos, os corpos elevados sem que eles desçam, consomem uma quantidade de trabalho que não pode ser transmitida. Esta quantidade é teoricamente suficiente para produzir esses efeitos; mas é necessário sempre consumir uma quantidade muito grande, por causa das velocidades comunicadas e dos movimentos que resultam entre os corpos no entorno. Frequentemente esses acréscimos de trabalho são, de fato, ligados ao efeito produzido; não é possível de impedi-los, não podemos senão diminuir-los. Por exemplo, desde que uma bomba eleve água para um reservatório, torna-se necessário que esta água chegue através de um canal que não seja muito largo e com certa velocidade, independente da dificuldade que ela tenha. O pistão que a comprime deve produzir, além disso, trabalho que exige elevação de água, a porção necessária para dar a esta água a velocidade que ela tem ao sair da bomba; este acréscimo de trabalho vai se perder no movimento da água na bacia que a recebe: podemos bem diminuir esta perda, alargando a mangueira de escoamento, mas não podemos torná-la nula (p.238).*

Se o rendimento mecânico não pode ser igual a um, não é unicamente em razão da imperfeição das máquinas, mas por uma razão muito mais profunda que já tenhamos evocado: uma máquina perfeita será economicamente absurda, pois que ela deverá transmitir o movimento com uma velocidade infinitamente lenta. A maximização do rendimento constitui então uma pesquisa pragmática, que toma a máquina como uma caixa-preta, consumindo certa quantidade de trabalho e produzindo certo efeito útil, calculado a posteriori, mas que não é possível de distinguir formalmente, em uma “fisiologia da máquina”, das outras causas de dispêndios. O objetivo que deve se fixar o empresário é, para Coriolis, muito empírico: reduzir todas as coisas iguais por um lado e as perdas manifestas de força viva, sem procurar atingir um máximo absoluto:

*Em geral, por menos que se observe velocidade ou trepidações após o efeito produzido, ainda assim é*

preciso comunicar trabalho a última ferramenta para produzir o mesmo efeito útil. Qualquer um que deva procurar diminuir essas trepidações por meio de disposições convenientes, contudo, não será mais necessário se ocupar com o termo ou essas disposições custarão mais em dinheiro para seu estabelecimento na medida em que elas não se relacionarão com a economia do trabalho. Desde que seja necessário quebrar ou romper aderências por meio de choque, é impossível impedir que uma parte do trabalho não se perca em trepidações, e então essas não devem ser considerados como sendo uma imperfeição da máquina. Há casos onde, ao procurar economizar o trabalho, nós podemos não mais obter os mesmos produtos, sem que isto apareça pela primeira vez (p.239).

Este último exemplo ilustra claramente a impossibilidade, segundo Coriolis, de uma medida perfeita do efeito útil pela quantidade de trabalho. Resta sempre na sua avaliação uma dimensão qualitativa que o conceito de trabalho poderá medir. Se este problema se coloca nos três primeiros tipos de efeitos mecânicos que ele examina, isto se apresenta de maneira ainda mais radical no quarto caso, quando o objetivo é de produzir velocidade:

Desde que temos por objetivo realizar um trabalho somente sobre as massas que se renovam sem cessar, os deslocamentos rápidos, isto é, as velocidades muito grandes, este gênero de efeito dá lugar a transmissão de toda força viva nos corpos vizinhos. É evidente que então o trabalho empregado em trepidações ou atritos sobre os corpos vizinhos, após produzirmos o que queremos, não pode ser evitado; se tem essencialmente um efeito útil e ele forma uma medida. Por exemplo, desde que se trate de fazer sair o ar de um reservatório, como nas máquinas de fluxo, a velocidade do ar que sai pela tubulação é o objetivo ao qual nos propomos: ela produz trepidações na atmosfera; mas é claro que esta trepidação não pode ser diminuída e que ela entra completamente dentro do efeito a ser produzido; ela forma a parte principal (p. 240).

Coriolis é afetado pelos limites fundamentais do projeto físico-econômico dos engenheiros, fundado sobre o saber mecânico do século XVIII. Confrontados com o processo econômico, os conceitos saídos da mecânica clássica são “utilizados” ao máximo de suas possibilidades, funcionando como uma necessidade do novo pensamento termodinâmico, do qual simultaneamente Sadi Carnot lançou as bases. O tratamento da questão do tempo, sobre o qual nós nos detivemos longamente, estando no centro dessa passagem, via economia, da antiga a física moderna. Podemos com certeza, dentro de um formalismo abstrato saído da mecânica clássica, definir o trabalho

como abstração feita de toda dimensão temporal: é a “força viva” da ciência clássica. Mas tal definição do trabalho resiste a análise físico-econômica da máquina. Pensar a transformação da força viva em trabalho, é conceber um processo irreversível, uma transformação energética, que não pode, mesmo teoricamente, operar sem perda. Categoria do pensamento físico-econômico e não propriamente físico, o conceito de trabalho pressupõe a flecha do tempo, que bem cedo a teoria termodinâmica conceitualizou.

A importância do conceito de trabalho e mais geralmente da ciência dos engenheiros pela gênese da termodinâmica tem certamente sido claramente notada pelos epistemólogos da física. Não podemos esquecer, por outro lado, de associar esta corrente de pensamento com as transformações econômicas e sociais da primeira metade do século XIX e de ver na termodinâmica a ciência símbolo da Revolução industrial. A análise sistemática dos textos de Coulomb, Navier e Coriolis nos convidam a caminhar ao lado desta simples reconciliação histórica. Ela mostra que, dentro do pensamento termodinâmico, a questão econômica não intervém senão como elemento contextual, mas se situa no centro da conceitualização. Na mecânica industrial o problema termodinâmico está posto, independentemente mesmo do caso das máquinas a vapor, a partir do momento onde tentamos definir em termos físicos os conceitos econômicos de dispêndio e de produto: alguma coisa se conserva (sem a qual não se pode medir na mesma unidade dispêndio e produto); alguma coisa se perde (sem a qual não terá sentido se distinguir dispêndio e produto); temos então, em filigranas, as duas leis da termodinâmica. A termodinâmica propriamente dita intervém, desde então, que o dispêndio não consiste mais em uma quantidade de movimento mecânico dado, como no modelo clássico da queda d’água, mas em uma quantidade de carvão ou de “energia” animal. O conceito mais amplo de energia substitui então o de trabalho como instrumento de medida físico-energética.

Nós apresentaremos rapidamente, no capítulo seguinte, os prolongamentos termodinâmicos, mas fisiológicos e econômicos da mecânica do trabalho dentro do pensamento do fim do século XIX e do começo do século XX. Nós tentaremos igualmente aprofundar a comparação formal estabelecida entre estatórias e as concepções propriamente econômicas do valor. Mais geralmente nós tentaremos extrair os ensinamentos epistemológicos que podemos tirar deste surpreendente reencontro entre a física e a economia.

### 24 de outubro de 2019

#### Professor Renato Cotta agraciado com ICHMT Fellowship Award

O ICHMT, *International Centre for Heat and Mass Transfer*, através do seu Comitê Executivo, elegeu o Professor Renato Machado Cotta para receber o “*ICHMT Fellowship Award*”. Ele é o primeiro brasileiro a receber este prêmio, que foi instituído em 1980.

<http://www.abc.org.br/2019/10/24/academico-renato-cotta-recebe-ichmt-fellowship-award/>

### 14 de novembro de 2019

#### Resultado do Programa de Bolsa de Iniciação Científica da ABCM

No segundo ano do Edital, foram contemplados dois pedidos:

- Aluna: **Thaise Alonso**  
Orientadora: Gabriela Lima Menegaz > UFU
- Aluna: **Walquiria Santana Vilela**  
Orientador: Carlos Henrique Lauro > UFSJ

### 16 de março de 2020

#### Fechada a Sede da ABCM no Rio de Janeiro, devido à disseminação do corona-vírus (COVID-19)

A Diretoria de ABCM comunicou nessa data o fechamento da Sede da ABCM no Rio de Janeiro por um período de três dias, mantendo os atendimentos por e-mail e telefone. Posteriormente essa providência foi mantida de forma sucessiva, considerando o panorama da doença no Rio de Janeiro e no Brasil.

### 23 de março de 2020

#### ENEBI 2020 > adiado

Diante da situação causada pela COVID-19 no Brasil e no mundo, bem como das medidas tomadas para conter a expansão da doença, a Comissão Organizadora do ENEBI 2020 decidiu adiar o evento *sine die*.

#### CONEM 2020 > Cancelado

Devido à proliferação do vírus COVID-19 e certos da importância de se priorizar a saúde e segurança dos participantes, a Comissão Organizadora, em acordo com a Diretoria da ABCM, optou por cancelar o XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica > CONEM 2020.

### 05 de maio de 2020

#### Falece o Professor Joaquim Blessmann



foto: cortesia da família Blessmann

Professor Emérito da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Joaquim Blessmann formou-se Engenheiro Civil (UFRGS) em 1950 e obteve seu grau de Doutor pelo ITA, Instituto Tecnológico de Aeronáutica em 1963. Em 1973, fundou o Laboratório de Aerodinâmica das Construções na UFRGS. Presidiu o comitê de elaboração da norma NBR 6123 - Forças Devidas ao Vento em Edificações. Foi Acadêmico da Academia Nacional de Engenharia do Brasil e da Argentina. Também foi Professor Honorário da Universidade Austral (Argentina).

<https://anebrasil.org.br/membros/joaquim-blessmann/>

## 22 de maio de 2020

### EPTT 2020 e ENCIT 2020 > on-line

Devido à disseminação da pandemia (COVID-19), as Comissões Organizadoras do ENCIT 2020 > 18<sup>th</sup> *Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering on-line* e da EPTT 2020 > 12<sup>a</sup> Escola de Primavera de Transição e Turbulência decidem realizar esses eventos *on-line*.

## 19 de junho de 2020

### ENEBI 2020 > Cancelado

A Comissão Organizadora do ENEBI 2020 (Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica) juntamente com a Diretoria da **ABCM** decidem cancelar o evento.

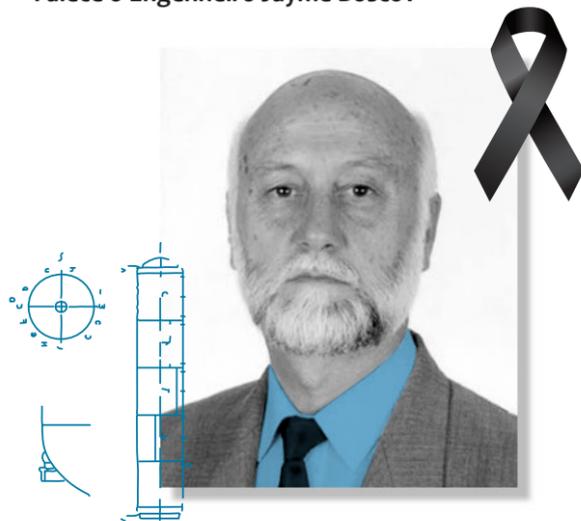
## 16 de julho de 2020

### DINAME > adiado

A Comissão Organizadora do DINAME 2021 (*International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics*) decide adiar o evento para 2023, planejando para a data original do evento uma semana de *webinars* nos temas do evento.

## 02 de julho de 2020

### Falece o Engenheiro Jayme Boscov



Eng. Jayme Boscov, pai do Programa VLS e um dos pioneiros do Programa Espacial Brasileiro, formou-se em Engenharia Aeronáutica no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Turma de 1959, e trabalhou na França por dez anos no desenvolvimento de mísseis.

Retornando ao Brasil, em 1969, iniciou o projeto do foguete SONDA III, um veículo de sondagem sub-orbital, no IAE (à época, Instituto de Atividades Espaciais e hoje, Instituto de Aeronáutica e Espaço).

Liderou o projeto do SONDA IV, veículo também sub-orbital de grande sucesso e predecessor da tecnologia do VLS (Veículo Lançador de Satélites), projeto do qual também foi gerente de 1980 a 1992.

Foi agraciado com a Ordem Nacional do Mérito Científico, em 20 de novembro de 1996, na área de Ciências da Engenharia. Recebeu as medalhas do Mérito Santos Dumont em 1970, Mérito Aeronáutico Grau Cavaleiro em 1978, Grau de Grande Oficial em 1986 e Grau Comendador em 1995, e, também, a medalha da Ordem do Mérito das Forças Armadas em 1989.

[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=5483](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5483)

<https://www.defesanet.com.br/space/noticia/37377/Jayme-Boscov--falece-pioneiro-do-Programa-Espacial-Brasileiro/>

## 04 de julho de 2020

### Falece em Bangalore, Índia, o Professor Jammi Srinivasa Rao (J. S. Rao)



Acadêmico de renome mundial na área de Dinâmica das Máquinas, Jammi Srinivasa Rao nasceu em 27 de dezembro de 1939 na vila de Madugula, distrito de Visakhapatnam, estado de Andhra Pradesh, na Índia.

Ele recebeu seu diploma de Bacharel em Engenharia Mecânica com honras em 1960 da Andhra University. Em 1963, completou seu *Master of Technology* no Instituto Indiano de Tecnologia (IIT) Kharagpur e em 1965 obteve seu Ph.D. e depois, em 1971, D.Sc., quando já fazia parte do corpo docente do mesmo instituto. O professor J. S. Rao tornou-se professor titular no IIT Kharagpur em 1970. Ele então se mudou para o IIT Delhi em 1975, para estabelecer o Centro de Tribologia Industrial, Dinâmica de Máquinas e Engenharia de Manutenção. Os interesses de pesquisa de J. S. Rao abrangeram Vibrações, Dinâmica de Pás e Rotores, Projeto, Teoria de Máquinas e Mecanismos e Termo-Fluido Mecânica.

Ele desempenhou um papel fundamental no estabelecimento do IFToMM (*International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science*), desde o seu início - na preparação da constituição e na assinatura da mesma na cerimônia inaugural em 1969 na Polônia

<https://abcm.org.br/uploads/Professor%20J%20S%20Rao-Obituary.pdf>

[https://prabook.com/web/jammi\\_srinivasa.rao/652886](https://prabook.com/web/jammi_srinivasa.rao/652886)

## 22 de julho de 2020

### Auxílios da ABCM no combate ao COVID-19

A **ABCM** apoiou diversas iniciativas de pesquisadores a fim de colaborar com as pesquisas relacionadas ao combate ao COVID-19.

São as seguintes as iniciativas apoiadas:

**Prof. Fernando Castro Pinto** > UFRJ  
Ventilador de Exceção para COVID-19 (VExCO)

**Profa. Zilda de Castro Silveira** > EESC-USP  
Ações integradas de engenharia entre Universidades (EESC-USP | CREARE | EP-UFSCar) e Centro de Pesquisa (CTI-Campinas), para auxiliar em caráter emergencial profissionais da área da Saúde.

**Prof. Fernando Lourenço de Souza** > UFU  
*Face Shields* | Parceria pela Vida.

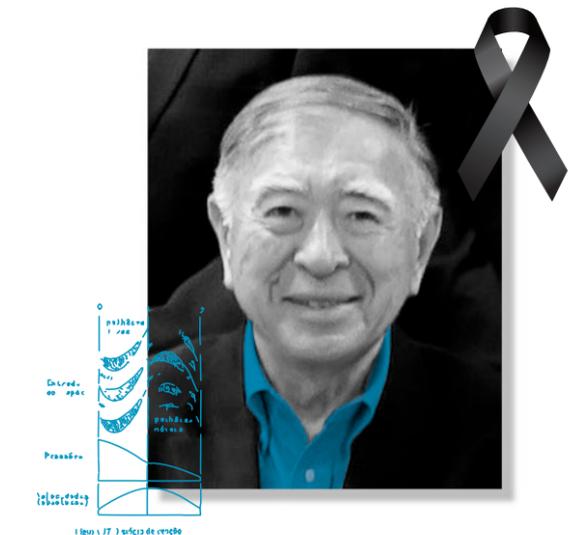
**Prof. Gustavo Dias** > FURG  
Fabricação e distribuição de *face shields* para secretarias municipais de saúde de municípios da região de Rio Grande, RS.

**Prof. Gustavo Dias** > FURG)  
Doação de duas caixas para intubação ao Hospital Municipal de São José do Norte, RS.

<http://abcm.org.br/app/webroot/uploads/Informe-COVID-versao-2.pdf>

## 17 de agosto de 2020

### Professor Eitaro Yamane, um dos fundadores da ABCM, falece em São Paulo



Nascido na cidade de São Paulo, o Professor Yamane diplomou-se em Engenharia Mecânica em 1961 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e concluiu seu doutorado em Engenharia Mecânica também na USP em 1970. Foi Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP, atuando principalmente nas áreas de Termodinâmica e Transferência de Calor.

Participou da elaboração do Manual de Termodinâmica e Transferência de Calor (1966), material didático de referência utilizado em vários cursos de engenharia do Brasil, do livro Tecnologia do Condicionamento de Ar (1986), assim como de traduções de livros texto fundamentais, tais como Fundamentos da Termodinâmica Clássica (1993) e Princípios da Transmissão de Calor (1977).

Foi homenageado como Professor do Ano pela Associação dos Engenheiros Politécnicos (AEP) em 2008, e pelo Ministério das Relações Exteriores do Japão em 2013, pela sua contribuição ao avanço da cooperação acadêmica entre o Brasil e o Japão.

<https://www.abcm.org.br/pb/40-anos-abcm>

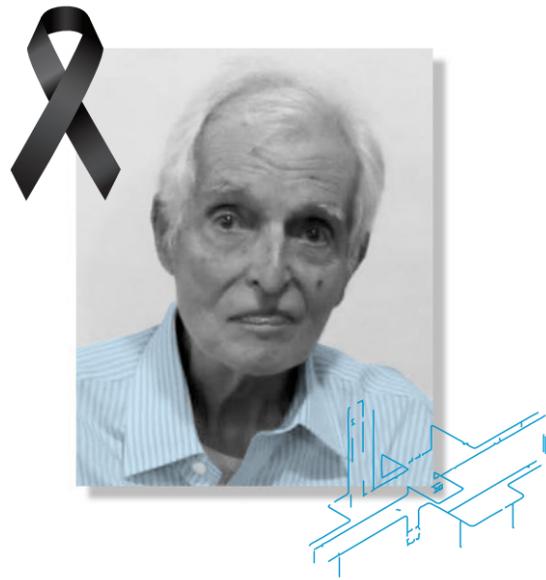
<https://www.poli.usp.br/noticias/nossa-opiniao/41768-professor-eitaro-yamane-55-anos-de-dedicacao-ao-ensino-da-engenharia-no-brasil.html>

## 30 de agosto de 2020

### Falece o Professor Pedro Carlos da Silva Telles

Faleceu em 30 de agosto, aos 95 anos, o engenheiro e Professor Pedro Carlos da Silva Telles. Nascido em

Petrópolis, RJ, em 25 de fevereiro de 1925, diplomou-se engenheiro pela Escola Nacional de Engenharia (atual Escola Politécnica da UFRJ), em 1947. Autor de 13 livros, Silva Telles é muito conhecido por sua obra “Tubulações Industriais”, referência obrigatória no tema. Além de sua inestimável contribuição à área de tubulações e equipamentos, dedicou-se à história de Engenharia Brasileira, com os livros “História da Engenharia no Brasil - séculos XVI a XIX”; “História da Engenharia no Brasil - século XX”; “História da Construção Naval no Brasil”; “Escola Politécnica da UFRJ - A mais antiga das Américas, 1792: das origens à atualidade”.

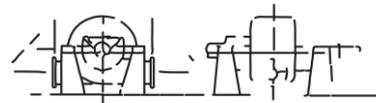


Foi sócio titular do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro (IHGB), membro titular da Academia Nacional de Engenharia (ANE) e da Academia Brasileira de Engenharia Militar (ABEMI), e filiado à Associação Brasileira de Preservação Ferroviária (ABPF) e à Sociedade Brasileira de História da Ciência (SBHC).

Pedro Carlos da Silva Telles é um dos maiores nomes da Engenharia Brasileira.

<https://www.engenharianobrasil.com.br/>

<https://anebrasil.org.br/membros/pedro-carlos-da-silva-telles/>



## 7 de setembro de 2020

Centenário da UFRJ



1920 | 2020

A **ABCM** prestou homenagem à Universidade Federal do Rio de Janeiro pela passagem de seu centenário e pelas importantes contribuições à ciência e à engenharia brasileira.

## 9 de setembro de 2020

**Professora Carolina Cotta eleita para a The World Academy of Sciences (TWAS)**



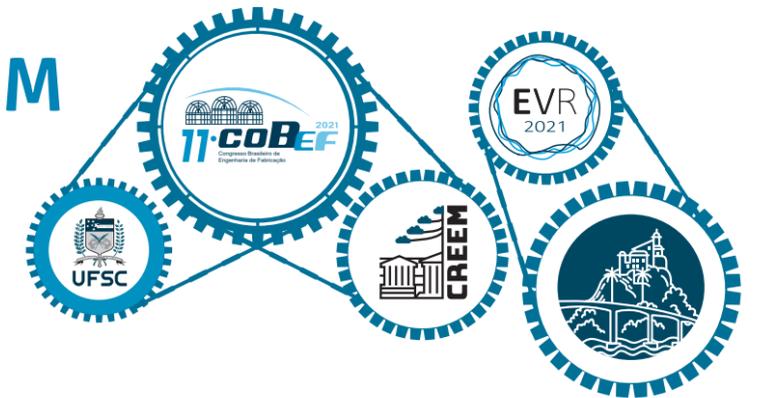
A Professora Carolina Naveira-Cotta (COPPE|UFRJ) foi eleita *Young Affiliate* da *The World Academy of Sciences* (TWAS) da América Latina e Caribe (LACREP).

Carolina é a primeira mulher brasileira eleita para a TWAS na Engenharia.

A Professora Carolina é membro do Conselho da **ABCM** com mandato até 2021.

<http://www.abc.org.br/tag/twas/>

# eventos ABCM > 2021



**CREEM 2021**  
**XXVII Congresso Nacional dos Estudantes de Engenharia Mecânica**  
**local > UFPR | Curitiba|PR**  
**formato > Virtual**  
**período > 08 a 12 de fevereiro de 2021**  
**site > <http://eventos.abc.org.br/creem2021/>**



**COBEF 2021**  
**11º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**  
**local > Curitiba|PR**  
**período > 24 a 26 de maio de 2021**  
**site > <http://eventos.abc.org.br/cobef2021/>**



6ª Escola de Verão de Refrigeração

**EVR 2021**  
**6ª Escola de Verão de Refrigeração**  
**local > São Carlos|SP**  
**formato > Virtual**  
**período > 15 a 18 de março de 2021**  
**site > <https://eventos.abc.org.br/evr2021/>**



**JEM 2021**  
**6ª Jornada de Escoamento Multifásicos**  
**local > Vitória|ES**  
**formato > Virtual**  
**período > 17 a 20 de maio de 2021**  
**site > <https://eventos.abc.org.br/jem2021/>**



**COBEM 2021**  
**26th International Congress of Mechanical Engineering**  
**local > Centro de Convenções Luiz Henrique da Silveira | Florianópolis|SC**  
**período > 22 e 26 de novembro de 2021**  
**site > <https://eventos.abc.org.br/cobem2021/>**

# expediente

## Revista ABCM Engenharia

publicação impressa | ISSN 2237-9851

Volume 23, número 1, 2020

### Editoria da Revista ABCM Engenharia

Sergio Viçosa Möller, Editor

[svmoller@ufrgs.br](mailto:svmoller@ufrgs.br)

A Revista **ABCM** Engenharia é uma publicação da Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas - **ABCM** que visa informar seus membros sobre atividades promovidas pela associação e notícias de interesse geral e ampliar a comunicação entre a Diretoria, o Comitê Editorial, os Comitês Técnico-Científicos e os associados.

### Diretoria e Conselho Deliberativo

A Direção da Associação é composta pela Diretoria e pelo Conselho. Estes órgãos colegiados são constituídos por representantes dos membros da **ABCM**, eleitos por um período de dois e quatro anos, respectivamente.

### Diretoria Biênio 2017-2019

Prof. Gherhardt Ribatski | EESC/USP

Presidente

Prof. Luís Mauro Moura | PUCPR

Vice Presidente

Prof. Domingos Alves Rade | ITA

Diretor Técnico-Científico

Prof. Leonardo Santos de Brito Alves | UFF

Diretor Secretário

Prof. Gustavo Rabello dos Anjos | UERJ

Diretor Tesoureiro

### Secretária Executiva

Débora Estrella

Av. Rio Branco, 124/14º andar - Centro

20040-001 - Rio de Janeiro - RJ

Tel: (0 xx 21) 2221 0438

Fax: (0 xx 21) 2509 7128

[abcm@abcm.org.br](mailto:abcm@abcm.org.br)

<http://www.abcm.org.br>

### Conselho 2017/2021

Efetivos

João Luiz Filgueiras de Azevedo | DCTA/IAE/ALA

Leandro Alcoforado Sphaier | UFF

Carlos de Marqui Junior | EESC-USP

Álison Rocha Machado | PUC-PR

Carolina Palma Naveira Cotta | COPPE/UFRJ

Suplentes

Marcílio Alves | POLI-USP

Adriane Prisco Petry | UFRGS

William Roberto Wolf | UNICAMP

Marcelino Guedes F. Mosqueira Gomes | PETROBRAS

Rubens Sampaio | PUC-Rio

### Conselho 2019/2023

Efetivos

Francis Henrique Ramos França | UFRGS

Katia Luchesi Cavalca Dedini | UNICAMP

Edgar Nobuo Mamyia | UNB

Elaine Maria Cardoso | UNESP

Samuel da Silva | UNESP

Suplentes

Mario Lott Guimarães Filho - EMBRAER

Adriano Fagali de Souza - UFSC

Alex Alisson Bandeira Santos - SENAI

### Comissões permanentes

Admissão

Gustavo Rabello dos Anjos | UERJ

Francesco Scofano Neto | IME

Stephan Hennings Och | PUC-PR

Ciência e Tecnologia

Domingos Alves Rade | ITA

José Roberto de França Arruda | UNICAMP

Francis Henrique Ramos França | UFRGS

Divulgação e Publicações

Leonardo Santos de Brito Alves | UFF

Sergio Viçosa Möller | UFRGS

Antônio José da Silva Neto | UERJ

Ensino e Difusão de Pesquisa

Luís Mauro Moura | PUCPR

Su Jian | UFRJ

Valder Steffen Júnior | UFU

Intercâmbio Institucional

Domingos Alves Rade | ITA

João Luiz Filgueiras de Azevedo | ITA

Renato Machado Cotta | UFRJ

### Projeto Gráfico

JG música e design

[adageisa4@gmail.com](mailto:adageisa4@gmail.com)

**Fotos e vetores:** banco de imagens:

(shutterstock | allfreedownload)

