



Implantação da unidade de enriquecimento de Urânio na INB

Roberto G. Esteves

Desenvolvimentos Recentes da Soldagem

Ronaldo Paranhos

As Leis do Atrito: da Vinci, Amontons ou Coulomb?

Ramilton Sinatora e
Deniol K. Tanaka

Os Rumos da Energia

Newton Reis de Moura

Desenvolvimento de um combustível nuclear avançado para a central nuclear de Angra 1

Roberto G. Esteves

Agenda de Eventos ABCM

Expediente

Volume 12, número 1, 2007.

Editoria da Revista ABCM Engenharia
José Roberto de França Arruda, Editor
arruda@fem.unicamp.br
Maria de Fátima Alonso de Sousa, Colaboradora
falonso@unicamp.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 2006-2007

Valder Steffen Jr., UFU - Presidente
Antônio José da Silva Neto, IPRJ/UERJ - Vice-Presidente
Francesco Scofano Neto, IME - Diretor Secretário
José Augusto Penteado Aranha, USP- Dir. Téc. Cient.
Su Jian, UFRJ - Diretor Tesoureiro

Conselho Efetivos

Américo Scotti, UFU (2006-2009)
Átila Pantaleão Silva Freire, UFRJ (2006-2009)
Edgar Nabuo Mamiya, UnB (2004-2007)
Eve Maria Freire de Aquino, UFRN (2004-2007)
João Luiz Filgueiras de Azevedo, CTA (2004-2007)
José João de Espindola, UFSC (2004-2007)
José Roberto de França Arruda, UNICAMP (2004-2007)
Marcos Pinotti Barbosa, UFMG (2006-2009)
Rubens Sampaio, PUC-Rio (2006-2009)
Sergio Viçosa Möller, UFRGS (2006-2009)

Suplentes

Felipe Bastos de Freitas Rachid, UFF (2006-2009)
José Antônio P. Balestieri, UNESP/FEG (2006-2009)
José Manuel Balthazar, UNESP/Rio Claro (2004-2007)
Mario Mourelle Pérez, UFU (2004-2007)

Secretária Executiva:

Ana Lucia Fróes de Souza
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
E-mail: abcm@abcm.org.br
Site: <http://www.abcm.org.br>

Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering.



Editor-in-Chief:

Paulo Eigi Miyagi, pemiyagi@usp.br

Associate Editors

Agenor de Toledo Fleury, São Paulo
Bioengineering
Amir Antônio Martins de Oliveira Júnior, Florianópolis
Thermal sciences
Anselmo Eduardo Diniz, Campinas

Manufacturing process
Celso Kazuyuki Morooka, Campinas
Offshore and petroleum engineering
Demétrio Bastos Neto, São José dos Campos
Combustion and environmental engineering
Domingos Alves Rade, Uberlândia
Dynamics, vibrations and acoustics
Fernando Antonio Forcellini, Florianópolis
Product engineering
Francisco Ricardo Cunha, Brasília
Fluid mechanics
Glauco A. de P. Caurin, São Carlos
Mechatronics and robotics
José A. dos Reis Parise, Rio de Janeiro
Refrigeration, heating, ventilation and air conditioning
Marcelo Amorim Savi, Rio de Janeiro
Non-linear phenomena
Monica Feijo Naccache, Rio de Janeiro
Rheology and non-newtonian fluid mechanics
Nestor A. Zouain Pereira, Rio de Janeiro
Solid mechanics
Olympio Achilles de Farua Mello, São José dos Campos
Aerospace engineering

Editorial Board:

Aristeu Silveira Neto, Uberlândia, Brazil
Átila Pantaleão Silva Freire, Rio de Janeiro, Brazil
Carlos A. Mota Soares, Lisbon, Portugal
Clovis Raimundo Maliska, Florianópolis, Brazil
Edgar Nobuo Mamiya, Brasília, Brazil
Edwardo F. Fukushima, Tokyo, Japan
Hans Ingo Weber, Rio de Janeiro, Brazil
Heraldo S. da Costa Mattos, Rio de Janeiro, Brazil
José M. Saiz Jabardo, La Coruña, Spain
José Roberto F. Arruda, Campinas, Brazil
Leonardo Goldstein Jr., Campinas, Brazil
Luiz Bevilacqua, Rio de Janeiro, Brazil
Peter Hagedorn, Darmstadt, Germany
Rubens Sampaio Filho, Rio de Janeiro, Brazil
Sadik Kakaç, Miami, USA
Wolodymyr J. Minkowycz, Chicago, USA

Comitês Técnicos da ABCM:

Comitê de Bioengenharia

Comitê Executivo Atual/Mandato: (2006-2007)

Agenor de Toledo Fleury, UNIFEI e EPUSP
Alan Peter Slade - University of Dundee, Scotland (European Delegate)
Aron José P. Andrade - Inst. Dante Pazzanese de Cardiologia
Djenane Cordeiro Pamplona - PUC-Rio
Cleudmar A. de Araújo, UFU
Estevam Barbosa de Las Casas - UFMG (Secretário)
estevam@dees.ufmg.br
Iracema M. Utsch Braga, UFMG
Jayme Pinto Ortiz - EPUSP
Luciano L. Menegaldo - IME-RJ (Secretário)
lmeneg@ime.eb.br
Raul Gonzalez Lima - EPUSP
Shirley Lima Campos, UFMG
Tulimar Machado Cornacchia, UFMG

Comitê de Ciências Térmicas

Comitê Executivo Atual:

Fernando de A. França - UNICAMP
f França@fem.unicamp.br
Francis H. R. França (Secretário) - UFRGS
frfranca@mecanica.ufrgs.br
João Flávio Vasconcelos - IPRJ/UERJ
jflavio@iprj.uerj.br
João Nazareno N. Quaresma - UFPA
quaresma@ufpa.br
Manuel Ernani Cruz - UFRJ
manuel@mecanica.coppe.ufrj.br
Marcelo José Colaço - IME
colaco@ime.eb.br

Continua

Editorial

Nossa temática neste número do ABCM Engenharia é variada. Trazemos três artigos que tratam da questão atual que se constitui, talvez, no maior desafio científico e tecnológico do nosso tempo, que é o das mudanças na matriz energética tendo em vista o fim da “era do petróleo”. Este é um tema que deve ser recorrente nos próximos números da revista e sobre o qual convidamos a comunidade a se expressar enviando-nos artigos.

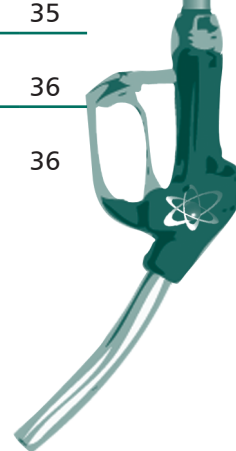
Uma outra temática sempre bem-vinda na ABCM Engenharia é a História da Mecânica. Neste número trazemos um interessante artigo sobre a questão, sempre atual, do atrito. O artigo defende a importância da contribuição de Leonardo da Vinci no estabelecimento dos fundamentos da disciplina. Trazemos, também, algum material de um número especial sobre Engenharia de Fabricação que tínhamos a intenção de publicar no início de 2006, mas que acabou não sendo viabilizado.

Finalmente, temos um interessante trabalho sobre o perfil da produção em Engenharia e Ciências Mecânicas no Brasil, feito a partir dos dados da plataforma Lattes usando ferramentas modernas da nascente área de Engenharia do Conhecimento. Os autores do artigo fazem parte do grupo que desenvolveu a plataforma Lattes.

Além disso, como sempre, divulgamos notícias da sede de nossa associação e a Palavra do Presidente. Desejamos a todos uma boa leitura e, já que a revista vai ser distribuída durante o COBEM 2007, um bom congresso.

Índice

Implantação da unidade de enriquecimento de urânio na INB Roberto G. Esteves	03
Desenvolvimento de um combustível nuclear avançado para a central nuclear de Angra 1 Roberto G. Esteves	05
Os rumos da energia Newton Reis de Moura	09
Contrato de gerenciamento eletrônico dos eventos ABCM	16
Uma análise da pesquisa em engenharia e ciências mecânicas no Brasil a partir dos dados da Plataforma Lattes Roberto C. S. Pacheco	16
Entrevista com Finn Jacobsen	23
O voo do primeiro protótipo do Phenom 100 da EMBRAER Vivian Silva Mizutani	25
Desenvolvimentos recentes da soldagem como técnica de fabricação Ronaldo Paranhos	26
As leis de atrito: da Vinci, Amatons ou Coulomb? Amilton Sinatora e Deniol Katsuki Tanaka	31
Mini-curso de Dinâmica Veicular	34
XIV CREEM	35
Agenda de eventos ABCM	36
Reunião Conselho ABCM 2007	36



Palavra do Presidente

Foi este certamente um ano bastante produtivo para a ABCM...

Além dos eventos regulares que foram e estão sendo organizados com muito cuidado e talento pelas Comissões Organizadoras, realizamos pela primeira vez o Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica – I ENEBI, em Itaipava, de 23 a 25 de maio. O evento congregou mais de cem participantes das áreas relacionadas às ciências da saúde (medicina, fisioterapia, odontologia etc.), além de pesquisadores das engenharias (mecânica, civil, de materiais e elétrica). Ainda com relação aos nossos eventos, o CREEM 2007, dedicado aos estudantes de engenharia mecânica, chegou a perto de 600 participantes nesta edição realizada em Uberlândia, de 6 a 10 de agosto.

Outra realização importante tem a ver com o registro das marcas consagradas de nossa associação (ABCM, COBEM, CONEM, ENCIT, DINAME, COBEF, CREEM) junto ao INPI. Algumas destas marcas já foram registradas e, à medida que os eventos forem realizando suas prestações de contas, vamos prosseguir com estas providências até que todas as marcas sejam protegidas.

Uma antiga reivindicação de nossa comunidade científica foi também recentemente atendida. Trata-se da celebração de um contrato com a empresa SWGE com a finalidade de termos um software capaz de gerenciar nossos eventos, dentro de um mesmo padrão de qualidade, diminuindo os custos nesta rubrica. A SWGE já possui uma grande experiência com eventos da ABCM. A título de exemplo, tanto o DINAME 2007 como o COBEM 2007, ambos usaram os serviços da SWGE.

A ABCM tem desenvolvido um relacionamento produtivo com outras associações científicas. Recentemente nos filiamos à SBPC e temos alguns projetos interessantes a serem desenvolvidos com a ABMEC. A ABCM tem sido convidada a promover, junto com outras associações, vários eventos internacionais a serem sediados no Brasil.

Na área internacional, a ABCM tem procurado se fazer ouvir. Nossos representantes têm participado ativamente de reuniões promovidas pela IUTAM, IFToMM, SFT, ICAS, FEIBIM. Participaremos junto com a SEM - Society for Experimental Mechanics, do SEM XI International Congress and Exposition on Experimental and Applied Mechanics, em 2008. A demanda pela participação da ABCM é crescente, acompanhando a tendência internacional de integração e cooperação.

No mês de agosto, tivemos um evento bastante importante, juntamente com a TRANSPETRO, ao ser assinado um convênio para elaboração de um livro sobre "Engenharia de Dutos".

As publicações da ABCM (JBSMSE, ABCM Engenharia, ABCM Symposium Series) vêm cumprindo um importante papel de divulgação científica e técnica, sendo o esforço e talento de nossos editores fortemente apreciados e reconhecidos.

Muitas de nossas atividades precisam contar com o forte apoio e entusiasmo das secretarias regionais, cujo trabalho tem o reconhecimento entusiasta da diretoria.

Os Comitês Técnicos têm desempenhado um papel de fundamental importância junto à comunidade da ABCM. Destaca-se sua participação nos vários eventos da associação, de forma a garantir o padrão de qualidade ABCM. Os secretários dos comitês têm o reconhecimento por seu envolvimento e entusiasmo. Vale uma palavra de destaque para o comitê de graduação e pós-graduação, que tem se responsabilizado pelo árduo trabalho de seleção de nossos melhores trabalhos, para premiação. Neste sentido, a ABCM também agradece pelo apoio da EMBRAER e da Mitutoyo, empresas que têm sido parceiras solidárias da ABCM nesta atividade.

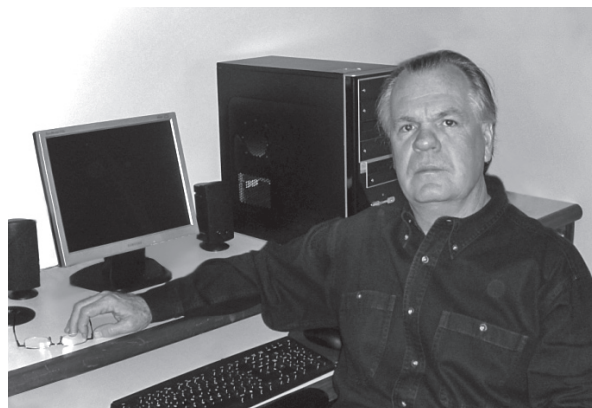
O trabalho do Conselho da ABCM merece todo o reconhecimento de nossa associação. As sugestões, críticas e acompanhamento de nossos conselheiros têm ajudado e encorajado a diretoria no exercício de suas atividades.

Nossas secretárias da sede da ABCM no Rio de Janeiro (Ana Lúcia e Viviane) têm desempenhado um árduo trabalho de atendimento diário a nossos associados. O Informativo Eletrônico, por exemplo, recebe de nossas secretárias atenção constante, levando informações consideradas importantes para o dia a dia de nossa carreira.

Finalmente, o ano de 2007 se encerra com o nosso tradicional COBEM, onde toda a comunidade se reúne para celebrar a Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, buscando contribuir para o crescimento científico e tecnológico de nosso país.

Valder Steffen Jr

Presidente da ABCM (biênio 2006-07)





Implantação da unidade de enriquecimento de urânio na INB

Roberto G. Esteves

Introdução

Em 05 de maio de 2006, foi inaugurada, pela Industrias Nucleares do Brasil SA - INB, em Resende - RJ, a primeira cascata de enriquecimento de urânio da Unidade de Enriquecimento Isotópico de Urânio, construída integralmente com tecnologia brasileira.

A tecnologia de enriquecimento de urânio usada foi desenvolvida pelo Centro de Tecnologia da Marinha, em São Paulo - CTMSP, em parceria com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN.

O elemento químico urânio se apresenta na natureza com uma composição isotópica onde cabe destacar os isótopos principais, U238, U235. Destes isótopos, o único que é físsil, isto é capaz de sustentar uma reação nuclear em cadeia, é o U235, presente na composição isotópica natural na proporção de somente 0,711% em peso.

O urânio, com esta composição natural, não serve como combustível nuclear para os reatores tipo PWR, usados no Brasil e na grande maioria dos países.

Para alimentar de combustível os reatores de forma eficaz, há a necessidade de se aumentar o teor do isótopo U235, no urânio, até valores da ordem de 3 a 5% em massa.

Tecnologia

A operação de concentração do isótopo U235 na mistura é chamada de enriquecimento isotópico do urânio ou simplesmente enriquecimento.

Como não há diferença no comportamento químico dos isótopos de um mesmo elemento, a propriedade usada comercialmente para se proceder à separação é a diferença de massa relativa entre eles.

O entendimento do processo brasileiro é simples; é usada a força centrífuga para realçar a diferença de massa entre os isótopos e assim proceder ao aumento do teor do mais leve, na mistura isotópica, pela retirada do mais pesado.

Como a diferença de massa relativa é pequena, três unidades de massa atômica em 238, há a necessidade de se obter altíssimas velocidades de rotação nas centrífugas para se ter um rendimento efetivo.

Mesmo assim, o aumento de enriquecimento numa centrífuga é modesto requerendo uma série de centrífugas ligadas em cascata para se atingir os valores de enriquecimento requeridos.

Também, o processamento em centrífugas requer que o material esteja na forma gasosa. Como consequência, o rendimento em massa por cascata é pequeno, exigindo um número grande de cascatas em paralelo.

Assim, a unidade básica da tecnologia de enriquecimento é uma ultra-centrífuga que deve rodar a velocidades bastante altas exigindo, como consequência, soluções para os problemas mecânicos relativos ao equilíbrio, balanceamento, aquecimento por atrito, forças significativas na estrutura e sistemas de controle.

Um dos sucessos da tecnologia brasileira foi solucionar o problema de atrito nos mancais para suportar velocidades de várias dezenas de milhares de rotações por minuto. O outro foi balancear o conjunto para evitar forças centrífugas excessivas que, em alta rotação, arrebentariam a estrutura. E finalmente, o desafio de contornar os problemas de vibração e de ressonância nos harmônicos da frequência natural, as velocidades críticas.

O ponto alto da solução conceitual para o projeto da centrífuga foi o uso de mancais eletromagnéticos eliminando assim todas as partes de contato que causam fricção. Como consequência, o maior desafio foi desenvolver o sistema de controle que mantém o rotor levitado e rodando com perfeito balanceamento.

O número de mancais, sua colocação, a velocidade de rotação alcançada e o sistema de controle são assuntos considerados classificados.

Atualmente, está em desenvolvimento o que se considera a próxima geração de ultra-centrífugas que, entre outras melhorias, deve aumentar a capacidade de produção pelo aumento da sua altura. Estas centrífugas, de nova geração, deverão equipar as futuras cascatas da usina da INB.

A usina

A unidade de medida do serviço de separação nas cascatas é a unidade conhecida como UTS, Unidade de Trabalho de Separação. As necessidades de Angra 1 e 2, mencionadas acima, vão requerer 203.000 UTS/ano de capacidade e está planejada para estar totalmente operativa em 2015. Seu custo será de R\$ 536 milhões.

A INB é dona do empreendimento e responsável pela construção e montagem da usina. As ultra-centrífugas são fabricadas e fornecidas à INB pelo CTMSP.

A usina está projetada para seis módulos contendo cada um várias cascatas.

Até 2012, os quatro primeiros módulos deverão estar operativos atendendo a 60% das necessidades daquelas centrais nucleares, representando 114.000 UTS/ano.

Uma usina de enriquecimento é um sistema que se baseia numa célula unitária, a ultra-centrífuga, no conjunto dessas, conhecido como cascata e no grupo dessas últimas para formar um módulo.

Diferente da maioria das fábricas convencionais, não é necessário a fábrica toda estar pronta para se iniciar a operação. Na medida que as cascatas são terminadas elas podem entrar em operação. Assim, uma usina de enriquecimento tem uma produção crescente durante a sua construção, o que, em termos de viabilidade econômica, contribui para o aumento da taxa de retorno do investimento. Pode-se mesmo atingir o ponto em que a receita da produção passa a financiar o restante da usina, o que é o caso da Urenco, uma das maiores produtoras mundiais de enriquecimento pelo processo de ultra-centrífugas.

Um dos gargalos na implantação do projeto, na INB, é a produção das ultra-centrífugas pelo CTMSP, aliado naturalmente à escassez dos recursos alocados pelo governo ao projeto.

Conclusões

Com a finalização desta unidade, o Brasil dá um passo definitivo no sentido de alcançar a autonomia tecnológica no ciclo do combustível nuclear. Para fechar a lacuna existente, teríamos que implantar ainda a usina de conversão de U3O8 em UF6, estágio imediatamente anterior ao enriquecimento onde o urânio é transformado em um composto gasoso com a finalidade de poder alimentar as centrífugas da usina de enriquecimento.

A usina de conversão é um processo químico quase convencional o qual já existe no Brasil em escala piloto, sendo a sua implantação um problema somente de recursos financeiros.

As demais etapas do ciclo do combustível nuclear, a saber, mineração, processamento do minério, fabricação de pó e pastilhas de UO2 e fabricação e montagem do elemento combustível, já se encontram implantadas e operativas na INB, em Resende, RJ.

Roberto G. Esteves - Ph.D. em Engenharia Nuclear pela UCLA, Professor Titular da escola de engenharia da UFF, Ex-Presidente da INB, foi o Project Manager do projeto do 16NGF pelo lado brasileiro, quando superintendente de Engenharia do Combustível da INB. resteve@globo.com



Desenvolvimento de um combustível nuclear avançado para a central nuclear de Angra 1

Roberto G. Esteves

Introdução

O combustível nuclear em um reator tipo PWR (Angra 1 e 2) consiste em um feixe de varetas metálicas contendo no seu interior pastilhas de UO₂ sinterizado. Essas varetas são espaçadas de alguns milímetros sendo esses espaços preenchidos com água que possui uma dupla função, fluido de refrigeração e moderador de nêutrons.

É a proporção entre os elementos químicos H, presente na água, e U, contido nas pastilhas no interior da vareta, conhecida como razão H/U, que regula a reação nuclear. Variando-se esta razão, obtém-se maior ou menor reatividade nuclear.

Por razões de estabilidade de operação e margem de segurança, entre outras, a razão H/U escolhida no projeto é sempre menor que aquela que daria a máxima reatividade. Diz-se que os reatores são sub-moderados.

O projeto do combustível de Angra 1, dos anos 70, foi realizado em uma época em que os modelos de comportamento do combustível no núcleo, aplicados no projeto, ainda eram incipientes devido à limitada experiência operacional existente.

Também os materiais usados e as ligas metálicas careciam de mais experiências de performance sob irradiação, tanto em reatores de pesquisa como em plantas de potência.

Em paralelo, os fenômenos existentes no núcleo eram tratados de forma conservativa devido à mesma ausência de experiência operacional, bem como à inexistência de sistemas inteligentes de controle na operação.

Na época, o preço do urânio tinha atingido uma das suas mais altas cotações no mercado (acima de 40U\$/lbU3O8) o que indicava como vantajoso se reprocessar o urânio contido nos elementos combustíveis e reciclá-lo, junto com o plutônio, com significativa vantagem econômica.

Tendo em vista este procedimento, estipulou-se, na época, o que se chamou de ciclo fechado do combustível onde o urânio usado era reprocessado e retornava aos reatores, atenuando as conseqüências do alto preço do urânio primário.

Nesta época, a otimização dos custos do combustível levava em conta a vantagem econômica do chamado "back end"- parte pós-reator - do ciclo do combustível.

Naturalmente, as restrições devidas à reduzida experiência operacional inibiam as ousadias dos projetistas em outros requisitos técnicos e comerciais como: aumento da extensão do ciclo de operação, redução das margens na reatividade, na sub-moderação e nos coeficientes de temperatura, e, finalmente, aumento da eficiência térmica.

Estas condições técnicas e econômicas da época deram como conseqüência projetos de combustível com sub-moderação em excesso e uso de maior massa de urânio, estas em parte devido às vantagens econômicas do reprocessamento e em parte devido ao uso de baixo enriquecimento do urânio.

A queda dos preços do urânio nas décadas de 80-90 e a proibição tácita do uso do reprocessamento devido às restrições à diversificação de materiais sensíveis, como o plutônio, criaram um cenário econômico diverso daquele em que o projeto original do combustível de Angra 1 foi desenvolvido.

Aliado a isto, o aumento da experiência operacional atual, superior a 12.000 reatores anos, a evolução de novas ligas metálicas e os sistemas inteligentes de controle deram aos projetistas atuais outras ferramentas e alternativas de projeto que permitem uma vantajosa otimização do combustível de Angra 1 e de outras centrais projetadas na mesma época.



Otimização da razão H/U

Com o objetivo de melhorar o projeto do combustível de Angra 1, a Gerencia de Projeto do Combustível da Industrias Nucleares do Brasil - INB apresentou, no Encontro de Física de Reatores – ENFIR 1998, no Hotel Glória, no Rio de Janeiro, dois trabalhos demonstrando as vantagens de se reduzir o diâmetro da vareta do combustível de Angra 1, aumentando como consequência o valor da razão H/U e a reatividade do núcleo do reator.

No início do ano de 2000, fomos procurados por representantes da Westinghouse que propunham o desenvolvimento de um projeto conjunto, tri-nacional, entre INB, Westinghouse e KNFC–Korea Nuclear Fuel Co., para desenvolver um combustível avançado do tipo Angra 1, W16x16, otimizando a razão H/U através da redução do diâmetro da vareta do combustível.

O motivo da participação destes três fabricantes era devido a que existem dois outros reatores idênticos a Angra 1, Kori 2, na Coréia do Sul, cujo combustível é fornecido pela KNFC, e Krsko, na Eslovênia, cujo combustível é fornecido pela Westinghouse. O desenvolvimento conjunto do projeto significava também uma redução significativa nos custos da engenharia, testes e fabricação de protótipos.

Desta forma, cerca de 10 engenheiros brasileiros participaram deste projeto, em tempo integral, de novembro de 2001 até dezembro de 2003, junto com seus pares da Westinghouse e KNFC, na elaboração dos projetos neutrônico, termo-hidráulico e mecânico do combustível e seus componentes, na fabricação dos protótipos e nos testes em laboratórios do elemento combustível e seus componentes. O novo combustível recebeu o nome de 16 NGF (New Generation Fuel) para diferenciar do antigo 16STD (Standard).

Otimização do diâmetro da vareta

Para o projeto do novo combustível, o 16NGF, o estudo da otimização do diâmetro da vareta combustível analisou uma redução no diâmetro, mantendo o mesmo espaçamento entre varetas, por razões de compatibilidade geométrica com o combustível 16STD. Aumentando a relação H/U, é possível obter um ganho líquido em reatividade devido à moderação mais elevada do fluxo de neutrons o que acarreta sua maior termalização (redução da energia dos nêutrons).

Não obstante os superiores resultados neutrônicos, o diâmetro otimizado da vareta combustível também tem que atender às exigências da análise de segurança do reator.

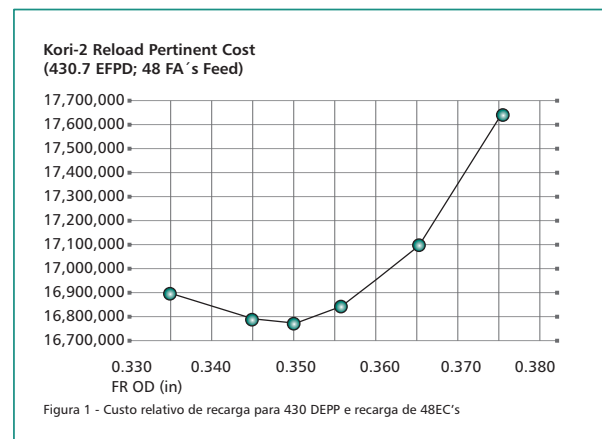
A tendência da indústria nuclear atual é também a de estender o comprimento dos ciclos de operação aumentando o enriquecimento do urânio nos novos projetos de combustível.

É preciso enfatizar que essa mudança de projeto

amplia as vantagens econômicas, reduzindo os custos de urânio e seu enriquecimento, com um ganho líquido em reatividade. Quando combinado com o restante das mudanças no 16NGF, o feixe de varetas desse combustível também aumenta a margem térmica e as margens operacionais.

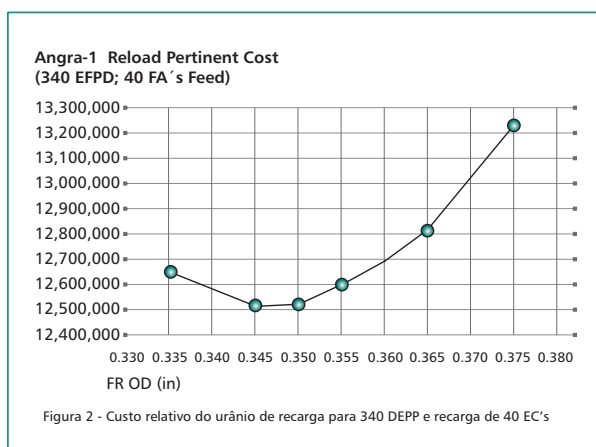
O Diâmetro Externo de Referência da Vareta Combustível (FROD, sigla em inglês – Fuel Rod Outside Diameter) para o elemento combustível 16STD é de 0,374 pol. Para determinar o diâmetro otimizado para o 16NGF, foi proposto fazer uma sistemática perturbação nos valores do FROD em comparação com o custo. O menor custo de recarga para o mesmo comprimento de ciclo foi a meta para a determinação do FROD que atende às exigências de otimização econômica. Os seguintes diâmetros externos de vareta combustível foram selecionados para avaliação: 0,335, 0,345, 0,350, 0,356, 0,360, 0,364 pol e o atual FROD do 16STD, 0,374 pol como caso de referência.

Dois estudos paralelos foram conduzidos. Um para recargas anuais de 48 elementos combustíveis e 430 DEPP (Dias Efetivos à Plena Potência - comprimento do ciclo de 16 meses), e outro para recargas anuais de 40 elementos combustíveis e 340 DEPP (comprimento do ciclo anual). Modelos de carregamento do núcleo gerados para ciclos de equilíbrio para 340 e 430 DEPP e recargas de 40 e 48 EC, respectivamente, foram então calculados a fim de obter o custo da recarga em cada caso. Usando um modelo econômico de custo unitário fixo, o custo total do combustível de recarga será guiado pelo custo total do U (diminui com a diminuição do FROD) e custos do enriquecimento em U 235 (aumenta com a diminuição do FROD para manter a geração total de energia fixa, DEPP). Os outros custos unitários associados com a fabricação do elemento combustível foram mantidos constantes. Os resultados econômicos do estudo de otimização do diâmetro da vareta combustível estão apresentados na Figura 1 e 2.



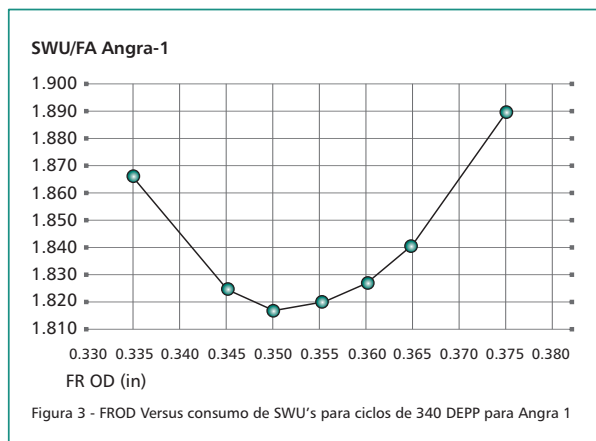
Essas figuras sintetizam o trabalho de otimização do diâmetro da vareta tendo em consideração o custo mínimo do ciclo para dois procedimentos operacionais, 340 e 430 DEPP.

Embora a reatividade tenha uma grande influência na obtenção destes valores, certamente a variação dos preços do urânio e dos serviços do ciclo pode alterar esta condição de custo mínimo. Assim, para verificar quanto o diâmetro, otimizado pelo custo, está longe do diâmetro que resulta no melhor ganho de reatividade, fizemos a mesma análise procurando o diâmetro que demanda menor número de Unidades de Trabalho de Separação (SWU, sigla em inglês) usada para medir o enriquecimento do urânio. Assim, estamos verificando a otimização do FROD independente dos preços de mercado.



A Figura 3 mostra que o valor do diâmetro da vareta otimizada, para Angra 1, desta maneira, não difere substancialmente daquele de custo econômico ótimo, 0,350 pol.

Além destas verificações, a análise também considerou o ponto de vista do gerenciamento do ciclo do combustível. Nessa análise, um FROD menor que 0,360 pol. mostrou ser indesejável para um comprimento de ciclo maior que 18 meses, resultando do fato de que o enriquecimento requerido em U235 se aproxima do limite superior de licenciamento das centrais (5%).

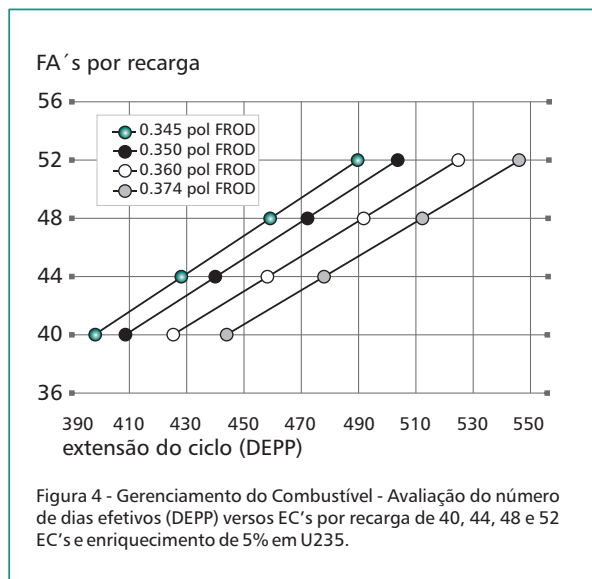


A Figura 4 resume a abordagem do gerenciamento do ciclo de combustível para número de EC's por recarga versus DEPP, para recargas de 40, 44, 48 e 52 EC's. Todos os casos consideraram o valor limite superior para o enriquecimento, isto é, 5 % U235.

As análises de otimização do diâmetro da vareta em função do custo resultam em se ter uma vareta ótima para o diâmetro 0.350 pol. Contudo, este diâmetro de vareta poderia obrigar a se trabalhar com recargas de 48 ou mais EC's se fosse necessário o uso de ciclos longos.

Este procedimento pode penalizar o custo devido a se ter um "burnup" bastante diferenciado entre alguns EC's e a média do núcleo. Na realidade o núcleo de Angra 1 é pequeno para uso de ciclos estendidos, obrigando a se pagar uma penalidade em "burnup" para alguns EC's, caso se decida por este caminho.

A análise da Figura 4 mostra que o diâmetro 0,350 pol no uso de ciclos estendidos pode comprometer as vantagens econômicas de otimização do FROD uma vez que seria necessária uma troca excessiva de combustíveis em cada recarga. O diâmetro 0,360 pol permite ciclos de 430 DEPP, requisito de Kori 2, mantendo uma troca ótima de EC's por recarga.



Margem térmica

A redução no diâmetro da vareta acarreta em uma diminuição na superfície de troca de calor entre vareta e refrigerante, aumentando o fluxo de calor no revestimento da vareta.

Um dos objetivos principais do projeto consiste em termos um novo EC que permita melhores fatores de pico de potência e ainda deixe uma margem para ser possível aumentar a potência da central nuclear. Outro objetivo do projeto térmico do 16NGF seria um aumento de 10% na margem de potência. Este resultado seria

assegurado se conseguíssemos um aumento aproximado de 20% na margem de DNB (sigla em inglês para Departure from Nucleate Boiling).

Uma redução no FROD de 0,374 para 0,360 pol diminui o desempenho em DNB de aproximadamente 8%. A redução para o diâmetro 0,350 pol, valor otimizado, acarretaria uma diminuição naquela margem de 14% aproximadamente.

Mantendo-se as outras características do combustível 16STD estáveis, não seria possível atingir os objetivos de projeto térmico estabelecidos acima usando-se o diâmetro otimizado para a vareta de 0,350 pol. A margem de ganho nos outros parâmetros de projeto para compensar os 14% perdidos e ainda permitir o ganho adicional de 20% de margem em DNB ainda está no terreno da pesquisa. Porém, atingir este critério de projeto de DNB com o diâmetro da vareta de 0,360 pol. já seria viável.

Uma solução colocada em prática com este objetivo foi o uso de grades misturadoras intermediárias denominadas de IFM (Intermediate Flow Mixing) na metade superior do EC, parte mais crítica quanto à DNB. Estas grades são componentes mecânicos envolvendo as varetas que apresentam aletas que aumentam o turbilhonamento do fluxo de refrigeração melhorando em muito a transferência de calor.

As IFM's já foram utilizadas em outros modelos "advanced" de combustível havendo experiência comprovada da sua performance.

O ganho de DNB decorrente do uso das IFM's, nestes combustíveis, testado em "loop" termo-hidráulico, foi na faixa de 20%. Como consequência, as grades IFM's poderiam mascarar uma perda de margem devida à redução do FROD para 0,360 pol., restando ainda um saldo positivo estimado em $20-8=12\%$.

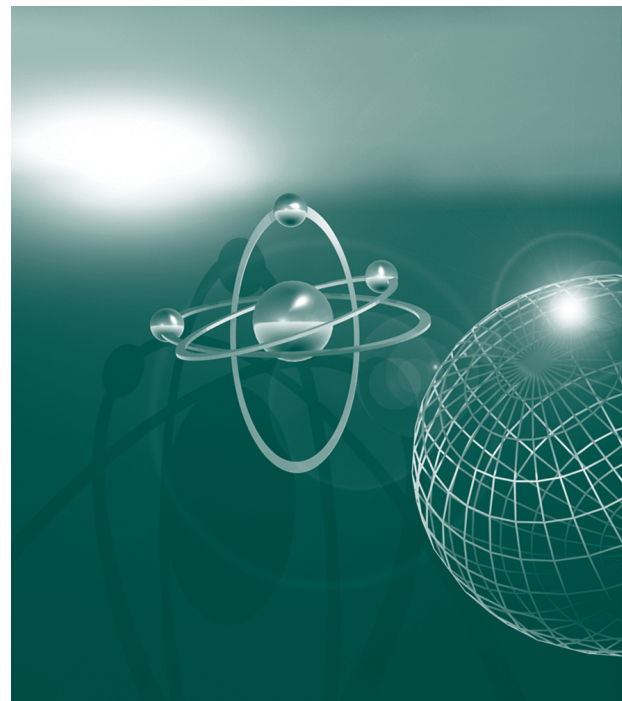
Assim, a redução no diâmetro da vareta ficou limitada a valores iguais ou superiores a 0,360 pol. devido às razões térmicas e de gerenciamento dos ciclos estendidos, já mencionada.

O ganho adicional requerido na margem de DNB (+8%), pelo critério de projeto, foi obtido através do uso também de aletas misturadoras aperfeiçoadas nas grades medianas (grades de fixação das varetas), que igualmente já tinham sido utilizadas nos projetos avançados da Westinghouse com ganho de margem de DNB na faixa de 8-10%. Assim o ganho total requerido pelo critério de projeto térmico, de 20% em DNB, foi possível.

Os resultados dos testes termohidráulicos feitos num feixe de varetas de 5x5, no "loop" de teste da Universidade de Colúmbia, em Nova York, comprovaram um aumento de margem de DNB entre 18 a 32% nos diferentes casos avaliados e comparados com casos semelhantes no combustível 16STD. Esta distribuição apresenta um valor médio ponderado de aumento de margem em DNB de 26%.

Desta forma, os objetivos do projeto térmico do novo combustível, aumento de margem de potência de 10% e correspondente margem de DNB de 20%, foram atendidos através de:

- limitar a redução mínima do FROD em 0,360 pol.;
- adicionar IFM's;
- modificações apropriadas no projeto da aletas das grades medianas.



Outros aperfeiçoamentos

O novo combustível incorporou nos seus componentes os materiais do estado da arte a fim de conseguir a resistência necessária às doses de nêutrons para permanecer mais tempo no núcleo do reator, permitindo, assim, atingir altos índices de queimado (burnup).

Como resultado, este combustível permite retirar até 75 GWD por tonelada métrica de urânio (MTU) contido no elemento combustível, assegurando uma queima média no núcleo de 55 GWD/MTU. Este valor representa **retirar acima de 30% a mais de energia por tonelada de urânio em relação ao combustível anterior de Angra 1, o 16STD.**

Adicionalmente, devido à redução no diâmetro da vareta ele usa cerca de 10% menos urânio no núcleo. E, finalmente, este combustível permite um **aumento de até 10% na potência nominal da usina de Angra 1.**

Esta redução no valor do urânio contido, bem como o aumento da energia retirada por unidade de massa, reduz substancialmente a quantidade de rejeito de alta atividade deixado por GWD gerado.

Conclusões

A verificação do desempenho, dentro do reator, desses elementos combustíveis de próxima geração –16NGF– teve início em 25 de janeiro de 2005, quando a Unidade 2 da central de Kori, na Coreia do Sul, retornou à operação contendo em seu núcleo 4 EC's, "Lead Test Assemblies", do modelo 16NGF. Um programa de acompanhamento desta irradiação foi elaborado pela KNFC, que inclui inspeções periódicas nos combustíveis nas paradas de recarga, para avaliação do comportamento.

Em abril de 2007 foi realizada a segunda inspeção desse combustível e, em abril de 2008, será inserida uma recarga completa com este combustível na Unidade de Kori 2.

Um programa equivalente para Angra 1 está sendo preparado, porém, devido à operação de troca do gerador de vapor desta central, o carregamento deste novo combustível está atrasado. Os quatro "lead test assemblies" serão inseridos em Angra 1 somente em

agosto de 2007. Eles deverão seguir um procedimento de inspeção similar ao de Kori 2.

É de interesse das partes associadas neste projeto que o fornecimento de componentes do combustível 16NGF seja globalizada para se tirar maior proveito da otimização dos custos de produção. Assim, o escopo de suprimentos foi dividido entre os três fabricantes, sendo as partes fornecidas por cada um realizadas para as três centrais nucleares gêmeas.

Os bocais superiores e inferiores do elemento são fabricados no Brasil pela INB. A parte de tubos de revestimento é fabricada pela Westinghouse e os conjuntos das grades do elemento fabricados pela KNFC.

Esta divisão de mercado já está sendo cumprida para os "lead test assemblies".

Roberto G. Esteves - Ph.D. em Engenharia Nuclear pela UCLA, Professor Titular da escola de engenharia da UFF, Ex-Presidente da INB, foi o Project Manager do projeto do 16NGF pelo lado brasileiro, quando superintendente de Engenharia do Combustível da INB. resteve@globo.com



Os rumos da energia

Eng. Newton Reis de Moura

Introdução

Muito tem se falado do futuro da humanidade e da necessidade cada vez maior de se obter fontes de energia para suprir a crescente demanda mundial. Os países emergentes, principalmente a China e a Índia, estão conseguindo manter taxas altíssimas de crescimento econômico nos últimos anos, com grande expansão da exportação de seus produtos, criando um círculo virtuoso por causa do aumento do volume de negócios, trazendo benefícios para todos. Seguindo a mesma tendência, o Brasil também tem conseguido obter sucessivos recordes na sua balança comercial.

Mas isso tudo tem um preço. O desenvolvimento do homem sempre esteve associado ao domínio de fontes de energia. No início dos tempos o homem conseguiu dominar o fogo. Depois veio a era da madeira, do carvão e do petróleo. O desenvolvimento da humanidade sempre esteve intimamente ligado à necessidade de energia.

O progresso vem tendo crescimento exponencial desde a Revolução Industrial, que só foi possível devido ao domínio do ciclo de vapor. Isso levou ao aumento do consumo do carvão, fonte de energia disponível na

época. O domínio da eletricidade trouxe a necessidade de se construir centrais de geração de energia, primeiro através das hidroelétricas e depois das termoeletricas. O petróleo possibilitou o desenvolvimento dos veículos automotivos e a expansão da indústria em geral.

Para manter esse crescimento tecnológico, é necessário ter fontes de energia disponíveis que sejam capazes de atender a uma demanda energética crescente. O petróleo cumpre essa tarefa na atualidade, mas está próximo o momento das reservas mundiais começarem a declinar. Na realidade, o petróleo não irá acabar como muitos cenários estão prevendo, mas ele deixará de ser a principal fonte de energia nas próximas décadas. Como o valor dessa *commodity* está bastante elevado no mercado internacional, chegando a US\$ 70 o barril, isso acaba por viabilizar outras fontes energéticas, ou até mesmo a exploração de reservas não convencionais que não eram comerciais. Com o custo atual do petróleo, viabilizou-se, por exemplo, o aproveitamento comercial das areias betuminosas existentes no Canadá, possibilitando incorporar grandes reservas de petróleo naquele país. O Brasil busca solução em exploração em águas ultra profundas. O país está na vanguarda em tecnologia de exploração e produção marítima devido aos esforços da Petrobras. Sucessivos recordes de produção em águas cada vez mais profundas deverão ser batidos. O preço atual do petróleo permite isso!

Mas o problema de um desenvolvimento econômico e tecnológico nas taxas atuais é conseguir encontrar matérias primas e fontes de energia suficientes para manter esse crescimento. O planeta Terra não teria

recursos naturais suficientes para atender a demanda mundial caso os habitantes de todos os países tivessem um padrão de vida equivalente ao do americano. A China, com as taxas de crescimento verificadas nas duas últimas décadas e sua enorme população, vem provocando o aumento do preço de diversas *commodities* no mercado internacional. Este ano, a China ultrapassou os EUA em emissões de CO₂. O problema é grave!

Sustentabilidade

Até recentemente, a grande preocupação dos países e das empresas era o crescimento econômico sem levar em conta o impacto que as atividades industriais trariam ao meio ambiente e também à sociedade. Com base no conceito puramente de avanços tecnológicos e ganhos econômicos, as nações ricas chegaram ao atual estágio de desenvolvimento sem se importarem com os prejuízos à natureza e à sociedade durante o processo de desenvolvimento.

Na medida em que a sociedade foi se conscientizando de que as atividades industriais afetavam diretamente o seu bem estar, ela passou a exigir processos menos danosos ao meio ambiente. Hoje em dia, as empresas sabem que, caso alguma atividade venha a causar algum acidente ecológico, terá a sua imagem afetada perante a sociedade, correndo o risco de perder mercado, além das pesadas multas que deverão ser aplicadas pelos órgãos competentes.


Com a preocupação de que as atividades afetem

o mínimo possível o meio ambiente e que possam beneficiar também a sociedade em geral, foi desenvolvido o conceito de sustentabilidade. No livro *Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável*, de Lineu Bélico dos Reis, pode-se encontrar um conceito de sustentabilidade bastante interessante, definido no relatório “Nosso Futuro Comum”. Segundo esse relatório, desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades das gerações presentes sem afetar a capacidade das gerações futuras de também satisfazerem suas próprias necessidades.

Percebe-se então que o desenvolvimento sustentável deve satisfazer a três áreas distintas: tecnológica (ou econômica), social e ambiental. Qualquer empresa que queira sobreviver em um ambiente altamente competitivo, deve levar em conta as premissas da sustentabilidade.

A PETROBRAS, ao avaliar os novos empreendimentos ou o desenvolvimento de novas tecnologias, sempre opta por aqueles que tenham a maior sustentabilidade possível. No Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES), foi criada uma gerência geral responsável por esse tema, denominada Pesquisa & Desenvolvimento de Gás, Energia e Desenvolvimento Sustentável. Essa gerência geral tem como missão desenvolver projetos de P&D que apresentem soluções tecnológicas que causem o menor impacto ambiental possível e que tragam benefício para a sociedade. Essa gerência geral colabora para que a PETROBRAS venha a se tornar uma empre-

Nota do Editor
Relatório
da United
Nations World
Commission on
Environment
and
Development
(WCED)
publicado em
1987 com o
título “Our
common
future”.



“O problema de um desenvolvimento econômico e tecnológico nas taxas atuais é conseguir encontrar matérias primas e fonte de energia suficientes para manter esse crescimento.”

sa de energia com atividades que sejam sustentáveis.

Percebe-se que a atividade humana sempre foi extremamente predatória, incluindo na área de energia. Ao se olhar para o futuro, a equação a ser resolvida é como atender a crescente demanda por energia em todos os segmentos econômicos a nível mundial sem trazer prejuízo ao meio em que vivemos e de que tanto necessitamos dos seus recursos para continuarmos a viver. Essa é uma questão que ainda não foi respondida e que tem propiciado muitos estudos e pesquisas.

As energias renováveis

Na atualidade, muito tem se investido na procura de soluções a curto e médio prazo para atender ao grande aumento da demanda por energia no mundo sem afetar o meio ambiente. Os combustíveis fósseis ainda terão participação significativa na matriz energética mundial, mas as novas unidades de geração de energia terão maiores restrições para emitir os gases de efeito estufa (conhecido pela sigla GEE).

Diversos cenários buscando determinar como será a matriz energética mundial têm sido montados. Todos eles apontam para o aumento do uso de fontes renováveis. Isso se deve principalmente por causa do aumento do custo do petróleo. A grande vantagem dessas fontes é que estão sempre disponíveis na natureza e não contribuem para o agravamento do aquecimento global. Muitas delas, tais como a eólica e a solar, começam a despontar na matriz energética de alguns países, principalmente os europeus.

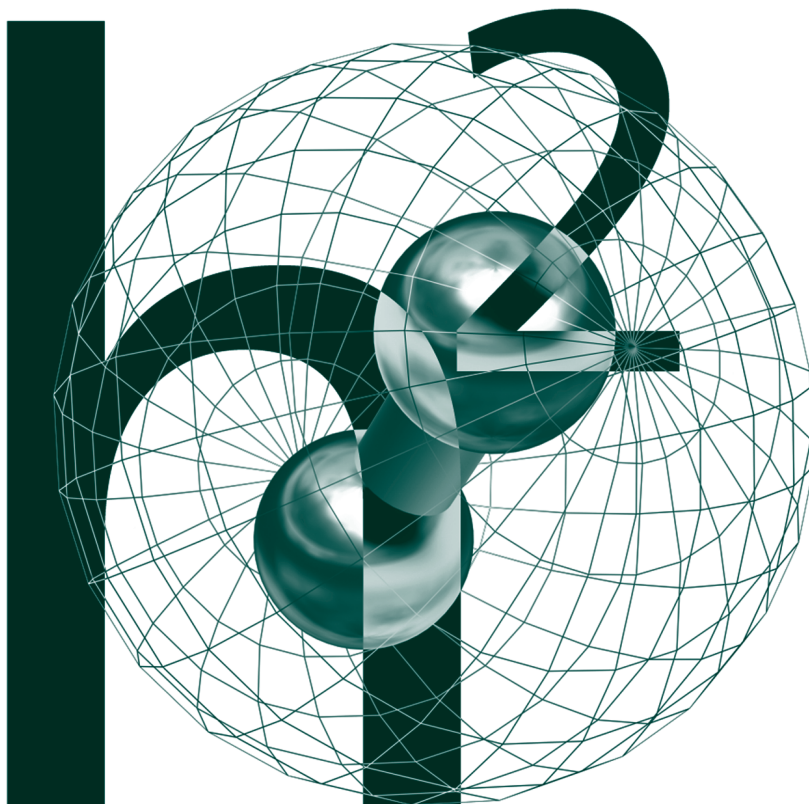
Até a energia nuclear teria vez nesses cenários futuristas pois, apesar do risco de radiação, que pode ser minimizado com os novos projetos que estão sendo desenvolvidos como o reaproveitamento do combustível usado nos reatores das usinas, ela não emite nenhum GEE. Outro combustível, que não é encontrado livre na natureza, mas que está sendo considerado como sendo uma ótima solução para uso em residências ou em veículos e que só emite água, é o hidrogênio.

Hidrogênio

Atualmente, o hidrogênio está sendo apontado como o combustível do futuro, ou aquele que irá substituir os combustíveis fósseis, principalmente para aplicação veicular. A sua maior vantagem seria a queima limpa, ou seja, sem nenhuma emissão dos gases de efeito estufa. O hidrogênio é um elemento de grande abundância na Terra, portanto não será escasso no futuro.

O problema do hidrogênio é que ele não é encontrado na forma livre na natureza, pois está sempre associado a outros elementos, formando moléculas de outras substâncias, como a água e os hidrocarbonetos. Portanto, haverá a necessidade de se desenvolver meios eficientes de produção de hidrogênio, com baixo consumo de energia, e sem aumentar a emissão dos gases de efeito estufa para a atmosfera durante essa operação.

Muitos modelos vêm sendo montados para mostrar quais são os gargalos tecnológicos para a inserção do hidrogênio na economia de diversos países, tendo como meta chegar a uma economia do hidrogênio. Por conta desses estudos, existem diversas linhas de



pesquisa e desenvolvimento na tentativa de viabilizar economicamente o hidrogênio, a saber: criação de infra-estrutura necessária para produção e distribuição desse energético, aumento da densidade energética na estocagem, aperfeiçoamento das tecnologias de produção de hidrogênio, desenvolvimento de tanques mais leves, etc. Para criar uma infra-estrutura eficiente, será necessária a construção de centrais de produção de hidrogênio e de gasodutos para sua distribuição, bem como a construção de postos de abastecimento. Com relação ao aumento da densidade energética de estocagem do hidrogênio, a principal linha de pesquisa é o desenvolvimento de hidretos metálicos, cuja meta é a estocagem a pressões mais baixas. Hoje

em dia, o hidrogênio é abastecido a uma pressão de 350 bar, mas existem estudos que apontam a viabilidade de aumentar essa pressão para 700 bar. Inclusive já existem alguns postos abastecendo a essa pressão.

Diversos países estão investindo pesadamente para tornar a economia do hidrogênio uma realidade em poucos anos. Existem muitas parcerias em andamento, podendo ser comerciais, como a *California Fuel Cell Partnership*, na qual diversas montadoras, empresas de energia, fornecedores de célula a combustível e fabricantes de hidrogênio buscam soluções para viabilizar os chamados ZEV, *Zero Emission Vehicles*. Uma parceria internacional existente, com representantes oficiais dos ministérios dos países membros, da qual o Brasil faz parte, e que procura traçar políticas comuns para viabilizar a economia do hidrogênio nos próximos anos é o IPHE – *International Partnership for the Hydrogen Economy*. Por sua vez, a Agência Internacional de Energia (IEA – *International Energy Agency*) possibilita diversas parcerias internacionais, que são mais técnicas, identificando quais são os maiores gargalos tecnológicos e propõe projetos a serem executados em parceria entre diversos laboratórios de diferentes países.

Outra ação internacional que está em andamento é em padronização. A ISO – *International Standardization Organization* tem um Comitê Técnico (*Technical Committee*), de número 197 (TC-197) que é responsável pela elaboração de normas internacionais para o hidrogênio energético. Já o TC 105 do IEC (*International Electrotechnical Commission*) trata da normalização internacional de células a combustível. O Brasil faz parte desses Comitês Técnicos através da ABNT (Associação Brasileira de Norma Técnicas), que é representada pela CEET (Comissão de Estudo Especial Temporária) em Tecnologias de Hidrogênio.

Atualmente já existem alguns postos de abastecimento de hidrogênio espalhados em diversas cidades nos Estados Unidos, Canadá, Europa, Japão e Coreia do Sul. Esses postos não são iguais entre si, alguns têm sistema de produção de hidrogênio, outros recebem caminhões contendo hidrogênio na forma líquida ou na forma comprimida.

Existem duas linhas tecnológicas em desenvolvimento, distintas entre si, para a produção de hidrogênio num posto, a saber: eletrólise da água, onde os elementos hidrogênio e oxigênio que formam a molécula da água são separados e recombinados em moléculas de hidrogênio (H_2) e de oxigênio (O_2). Essa tecnologia tem como desvantagem um grande consumo de energia elétrica. A outra linha seria através da reforma de um combustível, predominantemente composto de átomos de carbono e de hidrogênio. O combustível passa em um reformador, que é um forno especial com catalisadores submetido a altas temperaturas, no qual ocorre a quebra das ligações atômicas liberando o carbono e o hidrogênio, formando, após uma rea-

ção de *shift*, moléculas de H_2 , H_2O e CO_2 .

Os modelos totalmente sustentáveis prevêem sistemas de produção de hidrogênio por eletrólise da água a partir de uma fonte primária renovável, como a energia eólica ou solar. Esses sistemas não emitiriam nenhum GEE e gerariam um combustível que emite somente água. O posto da Argentina, localizado em Pico Truncado, segue essa filosofia, pois aproveita o grande potencial de energia eólica existente na região para gerar a energia necessária para a eletrólise da água.

Outra forma sustentável de produção de hidrogênio seria através do aproveitamento da água que é vertida nas hidroelétricas nos momentos de baixo consumo de energia elétrica, principalmente à noite. Como água vertida é sinônimo de não aproveitamento da sua energia, a geração de hidrogênio seria uma solução para evitar esse desperdício.

A reforma de combustível fóssil é considerada uma forma não-sustentável de produção de hidrogênio, pois há emissão de CO_2 . O combustível preferível para isso é o gás natural, por causa da sua alta relação H/C. Apesar do gás natural ser uma fonte de energia fóssil, como na sua composição química a participação do metano (CH_4) é superior a 86%, a relação de hidrogênio e carbono é bem maior do que a dos demais combustíveis fósseis, como a gasolina, o diesel e o carvão.

Por que a relação H/C é tão importante na análise das emissões atmosféricas? A combustão de um hidrocarboneto gera CO_2 ($2C + O_2 \Rightarrow CO_2$), H_2O ($H_2 + \frac{1}{2} O_2 \Rightarrow H_2O$) e CO , quando a combustão é incompleta. Portanto, quanto maior for a relação H/C no combustível, maior será a emissão de H_2O em relação à emissão de CO_2 , que é, conforme visto, o grande vilão de gases de efeito estufa.

Outra forma sustentável de produzir hidrogênio seria através da reforma utilizando os biocombustíveis, como o etanol, pois as emissões líquidas de CO_2 são consideradas nulas. Essa análise é feita para todo o ciclo do vegetal, desde o seu plantio, quando o carbono presente na atmosfera é fixado pelo processo de fotossíntese, colheita, processamento e combustão final, quando o carbono é devolvido ao ambiente. Existem no Brasil alguns grupos que estão desenvolvendo esse tipo de reformador.

O hidrogênio pode ser utilizado em motores de combustão interna (ciclo Otto), tanto em aplicação estacionária como veicular, podendo estar puro, ou misturado ao gás natural. A BMW, por exemplo, lançou recentemente um veículo movido a 100% de hidrogênio. Mas algumas pesquisas mostraram que é possível usar a mistura de hidrogênio no gás natural, até certo limite, sem afetar o desempenho do motor movido a GNV. Provavelmente essa deverá ser uma maneira de inserção desse energético na matriz de combustíveis em diversos países.

Mas o equipamento na qual se espera utilizar o hidrogênio é a célula a combustível. A geração de energia elétrica é feita por um processo eletroquímico. Esse processo consiste em o hidrogênio passar por um catalisador para separar o próton do elétron. O próton permeia um eletrólito enquanto o elétron passa por um circuito externo para produção de trabalho (alimentação de bateria, utilização em motor elétrico, acendimento de uma lâmpada, etc). O ar atmosférico é soprado no outro lado do eletrólito para permitir que o oxigênio se combine com o próton e o elétron, formando H_2O . Ou seja, a única emissão de uma célula a combustível é a água.

Os processos eletroquímicos não estão limitados à máxima eficiência de Carnot. Por isso a célula a combustível (sem considerar o consumo dos equipamentos periféricos) tem, teoricamente, uma eficiência superior à dos motores térmicos, sendo essa a sua maior vantagem, além de não emitir GEE.

A grande desvantagem dessa tecnologia é o seu alto custo. Até o momento não foi possível a sua inserção no mercado por causa dos custos proibitivos e também porque ainda não se conseguiu obter um tempo de vida numa aplicação veicular por um período superior a 4.000 horas. A meta é chegar em 5.000 h.

Diversos países, como EUA, Japão, Canadá, França e outros estão investindo maciçamente no desenvolvimento das células a combustível. A Ballard, uma

das empresas de ponta nessa tecnologia, prevê que a célula a combustível deverá estar comercial em poucos anos somente para aplicação em empilhadeiras e em residências. Já para aplicação automotiva, a expectativa é que esteja disponível para o mercado em menos de 10 anos.

Ciclos térmicos

Apesar do impacto que as termoeletricas causam ao efeito estufa, ainda não existe tecnologia a um custo compatível para geração de energia elétrica para atender a demanda de um país. A hidroeletricidade não é considerada como solução a nível mundial porque o potencial hidráulico na maioria dos países é limitado. A energia nuclear ainda está sujeita a diversas críticas, além do que poucos países têm tecnologia e condições financeiras para a construção de novas centrais nucleares. Existe também o risco de se usar essa energia para fins bélicos.

O principal problema dos sistemas energéticos térmicos é a baixa eficiência dos equipamentos (motores, turbinas) ou dos ciclos. Uma central termoeletrica baseada apenas no ciclo do vapor (conhecido como ciclo Rankine) tem uma eficiência em torno de 40%. Uma turbina a gás operando nas condições ISO (15 °C e 1 atm) tem máxima eficiência de 42%. Em países quentes, como o Brasil, essa eficiência cai significativamente. O ciclo da turbina a gás é conhecido como ciclo de Brayton.

Verificou-se que a energia térmica disponível nos gases de exaustão tanto na caldeira como na turbina a gás poderia ser reaproveitada. Hoje em dia, existe uma grande preocupação no desenvolvimento de processos mais eficientes, de forma a aproveitar grande parte da energia disponível no combustível queimado. As termoeletricas de ciclo combinado usam esse princípio, o calor dos gases de exaustão da turbina a gás é reaproveitado numa caldeira, que recupera o calor desses gases para geração de vapor, usado em um ciclo Rankine. Essa solução aumenta a eficiência para 55%.

Segundo diversos pesquisadores, a geração distribuída (geração de energia elétrica feita no próprio local de consumo) poderá ser uma solução a ser considerada, pois tanto as residências, como o comércio e as indústrias gerariam a sua própria energia em equipamentos específicos, como turbinas (ou microturbinas para baixas potências) ou motores a gás. Essa solução é interessante, pois pode-se acoplar recuperadores de calor na exaustão desses equipamentos para atender a demanda térmica local. Por exemplo, não seria mais necessária a instalação de aquecedores de água ou de chuveiros elétricos nas residências, equipamentos que demandam muita energia para um fim não nobre, pois o calor dos gases de exaustão poderá ser aproveitado para o aquecimento da água. Esse sistema é conhecido como co-geração.



Mitigação de emissão de emissão de CO₂

Conforme visto no item anterior, as termoeletricas ainda são consideradas a melhor solução para atender ao aumento do consumo de energia elétrica, sendo um sério problema de emissão de GEEs.

Como viabilizar a construção das termoeletricas sem afetar o meio ambiente? Existem três linhas principais de pesquisa para viabilizar a diminuição da emissão de GEE em termoeletricas: (i) retirada de CO₂ na corrente de gases de exaustão, (ii) usar o CO₂ ao invés de ar como fluido de trabalho nas turbinas a gás em plantas de ciclo combinado, (iii) retirada do CO₂ antes da combustão na turbina a gás. Para essa última solução é necessário produzir um gás de síntese, seja através da reforma de combustíveis líquidos, seja através da gaseificação de combustíveis sólidos.

Uma solução que está sendo bastante considerada e na qual existem diversas linhas de pesquisa e de estudo é o seqüestro de carbono. E o que seria seqüestro de carbono? Os gases de exaustão das centrais passariam por plantas de amina que retirariam o CO₂, evitando assim a emissão de GEE para a atmosfera. Essa solução ainda não está disponível comercialmente pois ainda são necessários diversos desenvolvimentos para viabilizar os equipamentos em escala industrial.

Uma tecnologia que já está disponível, pois existem diversas plantas em operação no mundo, principalmente nos EUA e na China é o IGCC - *Integrated Gasification and Combined Cycle*. Essas plantas consistem na gaseificação de um combustível sólido, como o carvão ou o coque de petróleo, ou algum líquido pesado derivado do petróleo, gerando um gás, conhecido como gás de síntese, que é composto basicamente de H₂, CO₂, N₂, CO. Esse gás, após passar por um processo de purificação, é injetado na câmara de combustão de uma turbina a gás. Essa tecnologia ainda não é economicamente atrativa. Para mitigar a emissão de CO₂, são necessárias diversas pesquisas, tais como a retirada de CO₂ antes da combustão e o desenvolvimento de turbinas a gás que queimem um combustível rico em hidrogênio.

O Brasil e a energia

O Brasil é considerado um país com vocação para o uso de energias renováveis. A participação das hidroeletricas na matriz energética, considerada uma forma de geração de energia renovável, é uma das maiores no mundo. Além disso, foi pioneiro mundial no uso do etanol para uso em veículos equipados com motores de ciclo Otto. Em uma primeira etapa, substituiu o chumbo tetraetila, substância altamente cancerígena, como aditivo na gasolina para aumentar a sua octanagem. Em um segundo momento, com o lançamento do PROALCOOL, houve o desenvolvimento de veículos movidos somente a álcool. O desenvolvimen-

to recente dos veículos multi-combustíveis (*flex fuel*) trouxe ao país um diferencial tecnológico no uso do bioetanol. O etanol está sendo considerado na atualidade como uma possível solução em diversos países para substituição da gasolina, principalmente nos EUA.

Além disso, existem diversas usinas de cana de açúcar no país, que são auto-suficientes energeticamente, pois queimam o bagaço da cana para gerar a sua própria energia. Essas usinas podem ser otimizadas, possibilitando exportar energia para a rede elétrica. Conforme mostrado, a biomassa é uma fonte de energia renovável com reduzido impacto ambiental.

Por fim, outro biocombustível renovável que está começando a ter sua importância considerada na matriz de combustíveis é o biodiesel. Seguindo o mesmo raciocínio para o álcool, o ciclo do biodiesel causa menor impacto nas emissões de gases de efeito estufa. Até 2008, o percentual de biodiesel a ser adicionado no diesel deverá ser de 2%, passando depois para 5%, conforme estabelecido em lei. Esse percentual, apesar de baixo,



significa um grande volume de produção desse combustível, trazendo benefícios para a economia do país, principalmente para os produtores desse energético.

Outra fonte primária que tem tido alto crescimento no país nos últimos anos é o gás natural. A sua participação na matriz energética brasileira passou de meros 2% no início dos anos 2000 para algo em torno de 10% na atualidade. A previsão é que em poucos anos o Brasil ultrapasse a Argentina, país que tradicionalmente usa esse energético, passando a consumir 100 MM Nm³ (10⁸ m³ @ 1 atm e 0 °C) por dia. A PETROBRAS está empenhada em aumentar a produção nacional de gás natural, além de estar avaliando diferentes modais de transporte desse energético, como o GNL (gás natural liquefeito) e o GNC embarcado (gás natural comprimido em navios).

Vale a pena ressaltar que não é correto afirmar que a queima de gás natural é limpa, uma vez que também emite CO₂, mas o impacto das suas emissões

é bem inferior ao dos outros combustíveis fósseis por causa da sua alta relação de H/C. Além disso, a presença de enxofre e particulados é infinitamente inferior. Por essas razões, o seu uso vem despertando interesse em muitos países, pois é um combustível que atende aos limites de emissão, que estão cada vez mais restritos, além de causar menos problemas operacionais e de manutenção nos equipamentos.

O modelo energético brasileiro é denominado hidrotérmico, ou seja, as termoelétricas baseadas em gás natural complementarizam as hidroelétricas, sendo que seriam despachadas nos períodos de seca no país ou nos períodos de maior consumo de energia.

O Brasil tem também grande potencial de energia eólica e solar, as fontes de energia renováveis que estão sendo consideradas para substituição dos combustíveis fósseis para geração de energia. Um modelo que poderia ser implementado seria o da geração descentralizada, com a instalação de painéis fotovoltaicos nas residências, que poderiam, nos momentos de pico de incidência do Sol, exportar a energia para a rede elétrica. Assim diminuiria a dependência das gerações centralizadas.

O Brasil, em termos de fontes de energia, pode se considerar em posição bastante privilegiada. O país é auto-suficiente em produção de petróleo, estando no momento aumentando a sua produção, e incorporando novas reservas de óleo e gás. Além disso, existem grandes recursos hídricos ainda a serem explorados para geração elétrica. Complementando o potencial do país, ainda existem os biocombustíveis, o uso da biomassa como insumo energético (como por exemplo, as usinas sucro-alcooleiras) e o potencial eólico e solar.

Conclusão

O momento atual é extremamente rico para se buscar soluções para que as atividades humanas não deteriorem o meio ambiente e não afetem a qualidade de vida das próximas gerações.

Devido à complexidade dos diversos sistemas que fazem parte do nosso dia a dia, as soluções não são triviais, levando à necessidade de pesado investimento em diversas linhas de pesquisa. Para se viabilizar isso, será necessário incentivar a associação de empresas, grupos de pesquisas, universidades e até mesmo países. O que está ocorrendo atualmente é um problema universal, portanto, deverá se buscar uma solução em conjunto envolvendo todos.

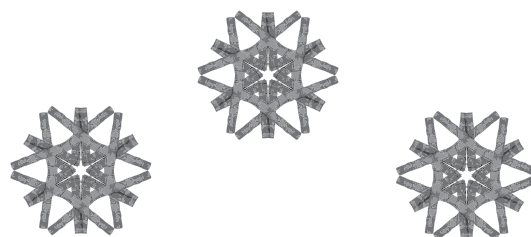
Provavelmente não se encontrará uma única solução para substituir o petróleo ou mesmo para mitigar a emissão dos GEEs. Muitos modelos prevêm uma matriz energética bastante diversificada, com a participação maciça de diversas fontes de energia renováveis. Cada país deverá aproveitar o seu potencial para investir na solução que melhor lhe atenda. Por exemplo, na China, como existem muitas reservas de carvão, provavelmente

te será um líder em plantas de IGCC. O Brasil, por sua vez, deverá ter uma matriz energética com importante participação da hidroeletricidade e da biomassa. A energia eólica e solar deverão ter também uma participação significativa. Os EUA, como estão exaurindo os seus recursos energéticos rapidamente, apostam no hidrogênio como forma de diminuir a sua dependência em relação às fontes primárias de energia fóssil.

No Brasil existem muitos grupos de pesquisa que estão fazendo diversos desenvolvimentos de forma a que o país seja menos dependente tecnologicamente no futuro. Praticamente todas as tecnologias listadas neste artigo têm algum grupo envolvido no seu desenvolvimento. Existem também outras linhas de pesquisa em andamento, como a energia das marés ou as edificações eco-eficientes. De qualquer forma, o volume de recursos aplicados em P&D (Pesquisa & Desenvolvimento) ainda é baixo quando comparado com outros países emergentes. É necessária também a formação de empresas tecnológicas para viabilizar comercialmente as tecnologias que estão sendo desenvolvidas.

A PETROBRAS é uma empresa que está apostando em diferentes soluções para auxiliar o país a passar pela fase de transição para uma nova era de energia. A empresa desenvolve diferentes linhas de pesquisa internamente ou através de financiamento dos grupos de pesquisa espalhados pelo país. Como exemplo disso, no próximo ano vai-se iniciar a construção de um posto no CENPES que viabilizará a investigação de novas tecnologias para a geração distribuída e aplicação de novos combustíveis. Nesse posto haverá abastecimento de hidrogênio, di-metil-éter, que poderá ser um substituto do diesel, produtos GTL (*gás to liquid*), que são combustíveis líquidos sintéticos produzidos a partir do gás natural e que são totalmente isentos de enxofre. Também serão instaladas microturbinas, células fotovoltaicas e células a combustível para geração de energia. Além disso, haverá *chillers* de absorção, equipamentos que recuperam o calor dos gases de exaustão das microturbinas para geração de frio. Este posto, que será aberto ao público, será uma síntese de algumas linhas de pesquisas que estão ora em curso na empresa.

Newton Reis Moura formou-se em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em 1984. Possui especialização em Engenharia de Equipamentos pela Petrobras e MBA em Gás e Energia pela USP. Ingressou na Petrobras há 22 anos, atuando na Bacia de Campos e no Cenpes. Atualmente é consultor técnico de Gerência de Gás e Energia do Cenpes.



Contrato de Gerenciamento Eletrônico dos Eventos ABCM

A Diretoria da ABCM informa aos seus associados que recentemente foi celebrado um contrato de prestação de serviços com a SWGE Sistemas LTDA. Esta empresa é a responsável pelo gerenciamento eletrônico do COBEM 2007. O principal objetivo deste contrato é o de padronizar o formato das páginas dos congressos da ABCM, bem como estabelecer um sistema unificado de revisão dos artigos a serem submetidos aos eventos. Este contrato possui duração de dois anos e atenderá a eventos da ABCM, tais como COBEF, CONEM, ENCIT, DINAME, COBEM. Havendo concordância e sucesso, o contrato será automaticamente renovado. Outros eventos poderão ser incluídos no contrato se houver interesse. Acreditamos que, através deste mecanismo, a Diretoria atua no sentido de atender a um antigo pleito da comunidade de Engenharia e Ciências Mecânicas

Uma análise da pesquisa em engenharia e ciências mecânicas no Brasil a partir dos dados da Plataforma Lattes

Roberto C. S. Pacheco¹, Fernando A. Forcellini¹, Vinicius M. Kern^{1,2}, Alexandre L. Gonçalves² e Wagner Igarashi^{1,2}
¹EGC/UFSC – PPG Engenharia e Gestão do Conhecimento ²Instituto Stela



Nos últimos oito anos o Brasil logrou formar uma das mais significativas bases de informação nacionais em Ciência, Tecnologia e Educação Superior do mundo. De um lado, a Plataforma Lattes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/MCT) e, mais recentemente, o Portal SINAES do Instituto Nacional de Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP/MEC) tornaram-se instrumentos do cotidiano de pesquisadores e docentes de todas as áreas do conhecimento. Também se transformaram em instrumentos de gestão e planejamento para as instituições do Sistema Nacional de Inovação. Esse, segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), é formado pelos sistemas acadêmico e de pes-

quisa, empresaria 2,5 vezes ao ano por pessoa e com atualização de 60% do total de currículos por semestre). O Portal SINAES, por sua vez, realizou neste ano o mapeamento das informações de cerca de 274,8 mil docentes e formou uma base com aproximadamente 9 mil avaliadores da educação superior.

Essas bases cobrem virtualmente a totalidade de informações individuais em C&T e em educação superior. No entanto, ainda ocultam conhecimentos de grande relevância para a compreensão do sistema brasileiro de inovação. A Engenharia do Conhecimento - cujos propósitos incluem a descoberta, a modelagem e a representação de conhecimento - apresenta uma série de ferramentas que podem revelar, por exemplo, dinâmicas de pesquisa e formação profissional, redes de cooperação e socialização, tendências de criação e de inter-relações de áreas do conhecimento.

Para ilustrar essa gama de oportunidades para descoberta de conhecimento, aplicamos a técnica de *mapas de conhecimento em* 5.328 currículos da Plataforma Lattes, com dados referentes a 2005, quando esse conjunto perfazia cerca de 1% do total. Essas pessoas foram escolhidas porque possuem graduação, área de atuação ou produção técnico-científica em Engenharia Mecânica. No conjunto escolhido estão 1827 doutores. Até 2005, esse universo de pessoas registrou mais de 8 mil palavras-chave distintas em seus currículos.

Nosso objetivo é explorar novas possibilidades de análise das pesquisas realizadas em Engenharia e Ciências Mecânicas por meio de mapas formados a partir das palavras-chaves co-ocorrentes em itens de produção científico-tecnológica dos currículos selecionados.

Mapas de conhecimento são estruturas que possibilitam a apresentação de idéias, conceitos e temáticas conectadas entre si.

Este estudo tem foco em "Engenharia e Ciências Mecânicas", considerando os 16 comitês da ABCM. No entanto, "Engenharia Mecânica" foi usada como uma aproximação para a obtenção dos currículos de interesse devido à dificuldade de caracterizar a área-foco nos registros curriculares, ao passo que a área aproximada é bem caracterizada.

Universo de Análise na Engenharia e Ciências Mecânicas

O primeiro passo para elaborar um mapa de conhecimento é definir seu universo de análise. Nosso ponto de partida foi a configuração das áreas de Engenharia e Ciências Mecânicas adotada pelos 16 comitês da ABCM. Com o domínio de análise definido, estabelecemos listas de termos que caracterizam cada área de interesse. A formação das listas teve por base palavras utilizadas nos currículos selecionados, nas descri-

ções dos comitês da ABCM e nos simpósios do COBEM, apoiadas por buscas ao Portal Inovação.

O critério de escolha das palavras considerou a frequência relativa dos mais de 8 mil termos encontrados no conjunto de currículos, de tal forma que a relação final variou entre as áreas, de acordo com as densidades das distribuições de ocorrências das palavras-chave. Assim, as 16 listas variam entre 6 e 19 termos, totalizando 140 palavras distintas. No Quadro 1 estão listados os termos selecionados para cada área de interesse.

O Portal Inovação – www.portalinovacao.mct.gov.br – é um serviço de governo eletrônico para cooperação tecnológica provido pelo MCT e que conta com espelhamento (cópia diária) da base de currículos do CNPq e permite buscar especialistas, grupos de pesquisa e empresas detentores de conhecimento científico-tecnológico em determinado tema de interesse.

Quadro 1 – Relações de termos por Comitê da ABC

Comitês	Termos
Bioengenharia	Bioengenharia, Biomecânica, Biotecnologia, Biomaterial, Modelagem, Simulação, Robótica, Dinâmica estrutural, Estruturas flexíveis
Ciências Térmicas	Transferência de calor, Modelagem, Simulação, Trocadores de calor, Mecânica dos fluidos, Métodos numéricos, Escoamento, Turbulência, Radiação, Condução, Convecção, Meios porosos, Elementos finitos, Diferenças finitas, Volumes finitos, Fenômenos de transporte, Coletores solares, Cogeração, Energia solar
Combustão e Engenharia Ambiental	Combustão, Leito fluidizado, Resíduo, Emissão, Cogeração, Combustível, Poluição, Poluentes, Modelagem, Simulação
Dinâmica	Dinâmica, Controle, Vibrações, Acústica, Ruído, Sistemas mecânicos, Modelagem, Simulação, Otimização, Elementos finitos, Métodos numéricos, Análise modal, Análise dinâmica, Conforto acústico
Engenharia Aeroespacial	Engenharia aeroespacial, CFD, Combustão, Satélite, Propulsão, Navegação, Aeroelasticidade, Órbita
Engenharia de Fabricação	Fabricação, Manufatura, Metrologia, Soldagem, Corte, Usinagem, Qualidade, Conformação, Planejamento de processo, CAD, CAM, CAPP, Fluido de corte, Máquinas, Ferramentas, Acabamento superficial, Prototipagem rápida
Engenharia Offshore e de Petróleo	Offshore, Plataformas, Petróleo, Gás, Óleo, Gasoduto, Reservatórios, Poços, Risers, Análise dinâmica, Cabos, Métodos numéricos, Confiabilidade, Oleodutos, Reologia, Interação fluido-estrutura
Engenharia do Produto	Desenvolvimento de produto, Desenvolvimento tecnológico, Gestão do desenvolvimento de Produto, Projeto do(e) Produto, Engenharia do produto, Engenharia Simultânea, CAD, Design, Projeto, Concepção, Inovação, Reprojetado, Metodologia de projeto, Projeto de máquinas, Gerenciamento de Projetos, CAE, Máquinas agrícolas
Fenômenos Não-Lineares	Dinâmica não-linear, Caos, Elementos finitos, Métodos numéricos, Vibrações não-lineares, Estruturas e materiais Inteligentes, Controle de sistemas não-lineares
Mecânica dos Fluidos	Mecânica dos fluidos, Fluidos não-newtonianos, Mecânica dos fluidos computacional, Turbulência, Leito fluidizado, Reologia
Mecânica da Fratura, Fadiga e Integridade Estrutural	Elementos finitos, Fratura, Fadiga, Trincas, Métodos experimentais, Tensões, Estrutural, Modelagem numérica, Modelagem Computacional
Mecânica dos Sólidos	Elementos finitos, Mecânica dos sólidos, Tensões, Métodos numéricos, Método dos elementos de contorno, Plasticidade, Elasticidade, Placas
Mecatrônica	Robótica, Controle, Sensores, Atuadores, Mecânica de precisão, Precisão, Sinais, Visão computacional, Instrumentação, CAD, CAM
Refrigeração, Ar Condicionado, Aquecimento e Ventilação	Refrigeração, Ar condicionado, Aquecimento, Ventilação, Termodinâmica, Capilares, Conforto térmico, Bomba de Calor, Compressores, Ebulição, Trocadores de calor, Transferência de calor
Reologia e Mecânica dos Fluidos Não-Newtonianos	Reologia, Elementos finitos, Fluidos não-newtonianos, Escoamento, Mecânica dos Fluidos, Métodos numéricos, Transferência de calor e massa
Mecânica Computacional	Mecânica computacional, Elementos finitos, Elementos de contorno, Volumes finitos, Dinâmica dos fluidos computacional, Fluido, Métodos numéricos

Para traçar os mapas de conhecimento, o próximo passo é selecionar entre os 5.328 currículos na Plataforma Lattes de interesse neste estudo aqueles que têm ao menos um dos 140 termos selecionados. Com isso, houve uma redução de aproximadamente 25% no conjunto original e os mapas de conhecimento foram gerados a partir de 4.019 currículos.

Explorando as Pesquisas Realizadas em Engenharia e Ciências Mecânicas

Com o universo de currículos escolhido, é possível gerar 17 trabalhos de engenharia do conhecimento, sendo um para cada comitê da ABCM e um combinando todo o universo da pesquisa da engenharia e ciências mecânicas. Por limitação de espaço apresentamos o estudo geral, combinando todos os comitês e um comitê específico.

Para a realização deste estudo utilizamos a ferramenta ISKMM®. Uma das funcionalidades desta ferramenta permite a elaboração de mapas de conhecimento sobre documentos ou sobre informações estruturadas. Cada mapa resultante é um grafo composto de nós e seus arcos (conexões entre os nós). Neste

trabalho, em cada estudo que realizamos os nós do grafo são palavras-chave existentes nos itens de produção dos currículos analisados e os arcos representam a relação entre duas palavras-chave. As relações entre as palavras-chave são medidas a partir de critérios de coexistência nos itens de produção.

O primeiro estudo explora o mapa de conhecimento resultante das co-ocorrências dos 140 termos nos 16 Comitês. Na Figura 1 está o mapa o resultante. Pode-se concluir que: (a) a Engenharia e as Ciências Mecânicas possuem alto grau de correlação entre os termos dos comitês (o que se reflete na figura concêntrica e densamente conectada); (b) a expressão “Métodos numéricos” - em destaque na figura (vermelho) - é uma das palavras-chave mais correlacionadas ao universo de 140 termos escolhidos (as palavras co-ocorrentes aparecem destacadas em laranja). Além dessa, as expressões “Simulação”, “Modelagem”, “Elementos finitos”, “Otimização” e “Controle” também são altamente correlacionadas às demais; e (c) nas extremidades do grafo, onde estão as palavras menos correlacionadas, sugerem os termos atribuídos aos comitês (ex: “Gás”, “Gasodutos” e “Reservatórios” são termos associados ao Comitê Engenharia Offshore e de Petróleo).

Para medir a relação entre duas palavras-chave utilizam-se suas frequências absolutas e as frequências conjuntas (co-ocorrências) e a quantidade de pares de termos co-ocorrentes na coleção completa de documentos sob análise. O grau de relacionamento varia entre 0 e 1.

O restante dos mapas de conhecimento pode ser encontrado em www.egc.ufsc.br/observatorio/abcm

ISKMM® - Instituto Stela Knowledge Mining and Management. Para o presente estudo foram aplicados os módulos de correlação e agrupamento de informação e representação gráfica de redes de conceitos.

Figura 1 - Mapa de conhecimento dos 140 termos (sem poda).



Ainda que o mapa geral já revele conhecimentos sobre as pesquisas realizadas na totalidade dos Comitês da ABCM, a densidade de correlações (arcos) oculta outros conhecimentos sobre a intersecção das pesquisas entre as áreas. Para explorarmos essas relações, é necessário realizar a operação de poda (*pruning*), em que se mantém no mapa as expressões que apresentam os mais altos graus de relacionamento entre si. Com essa abordagem, todos os termos altamente correlacionados aos demais deveriam estar novamente presentes no mapa resultante. É caso das expressões "Métodos numéricos", "Elementos finitos", "Otimização" e "Controle" que aparecem na Figura 2. As únicas exceções são as expressões "Simulação" e "Modelagem". Essas estão tão densamente presentes nos Comitês da ABCM que trazem a quase totalidade das 140 expressões para o mapa. Assim, resolvemos tratá-las como *stop words* e eliminá-las dos estudos subseqüentes.

O mapa global da Figura 2 permite concluir que:

(a) todos os comitês da ABCM aparecem no mapa de conhecimento resultante, com vários termos representados. Isso significa dizer que as pesquisas classificáveis na área de interesse de cada comitê encontram estudos correlatos em um ou mais dos demais comitês; (b) comitês específicos aparecem de forma isolada somente em regiões periféricas (ex: do nó terminal "Metodologia de projeto" até "Desenvolvimento de produto" estão expressões do Comitê "Engenharia do produto"); (c) há áreas de intersecção entre as pesquisas realizadas em cada comitê (ex: a região com as expressões "Energia solar", "Coletores solares", "Aquecimento", "Ventilação", "Refrigeração" e "Ar condicionado" mostra a intersecção entre o comitê de Ciências Térmicas e o comitê de Refrigeração, Ar Condicionado, Aquecimento e Ventilação); e (d) há regiões que refletem intersecções entre as pesquisas classificadas em diversos comitês (ex: no entorno de "Métodos numéricos" estão expressões pertinentes a vários comitês).

Figura 2 - Mapa de conhecimento dos 140 termos (com *poda*).

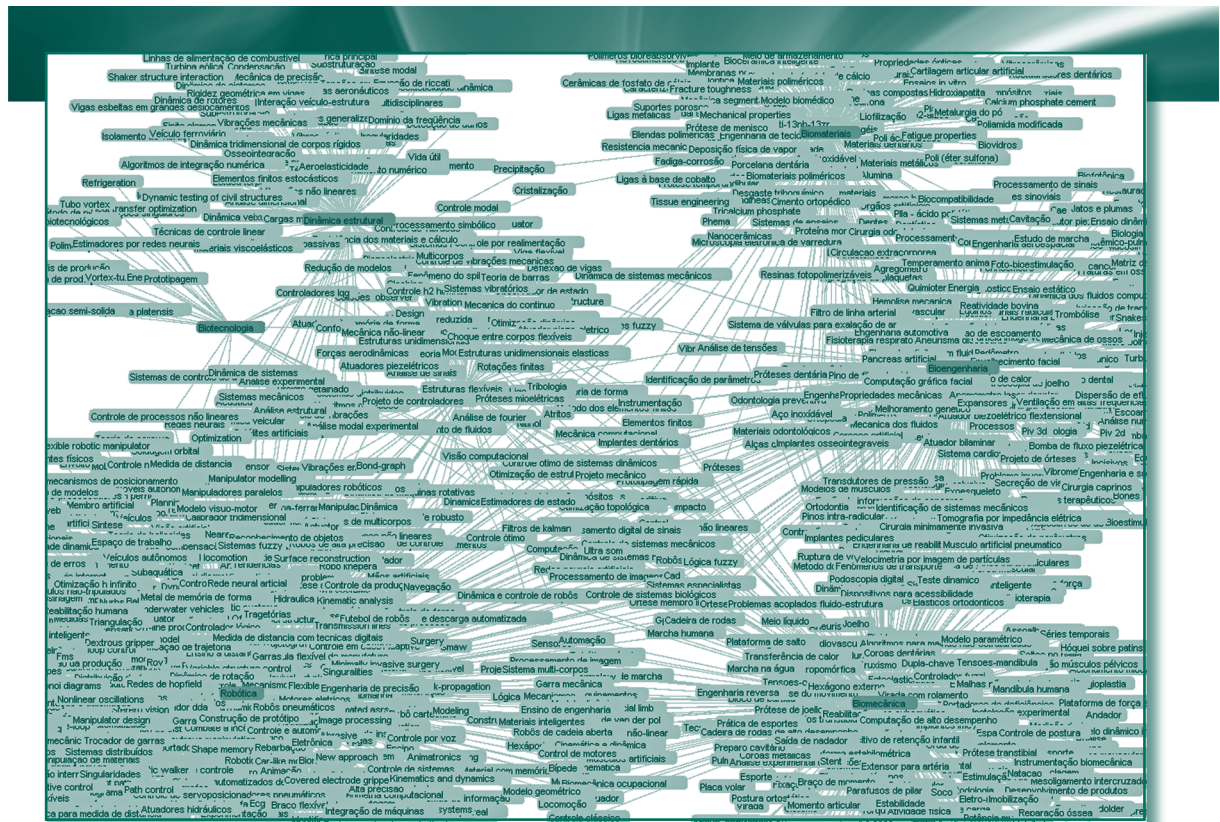


Explorando as Pesquisas por Comitê

As duas análises da totalidade de comitês tomaram por base a co-ocorrência unicamente entre os termos selecionados para cada comitê. Um estudo mais abrangente surge quando o mapa revela, também, outras palavras-chave utilizadas pelos pesquisadores e que são co-ocorrentes com os termos selecionados para os comitês. Infelizmente, esse procedimento torna ilegível a figura resultante. A Figura 3, por exemplo, ilustra uma parcela do mapa total gerado livremente para

o Comitê de Bioengenharia. Parte dos termos centrais (termos mais co-existent no universo de palavras-chave encontrados a partir dos termos selecionados para o Comitê) estão em destaque (“Biomateriais”, “Biotecnologia”, “Bioengenharia”, “Biomecânica”, “Robótica” e “Dinâmica estrutural”). Dos 6 centros mostrados, há um que não estava na relação de termos selecionados para o comitê (“Robótica”).

Figura 3 - Parte do mapa de conhecimento livre (sem poda) para o Comitê de Bioengenharia.



O mesmo fato ocorre para os demais 15 comitês estudados. A densidade de termos e relações de co-ocorrência torna os grafos de difícil legibilidade. Assim, em cada caso procurou-se encontrar o nível de poda de co-ocorrências que permitisse a melhor legibilidade para o mapa de conhecimento resultante. Para ilustrar os resultados quando da aplicação da poda nos níveis de ocorrência, tomamos, neste espaço, como exemplo a Bioengenharia. Os demais mapas de conhecimento estão disponíveis em www.egc.ufsc.br/observatorio/abcm.

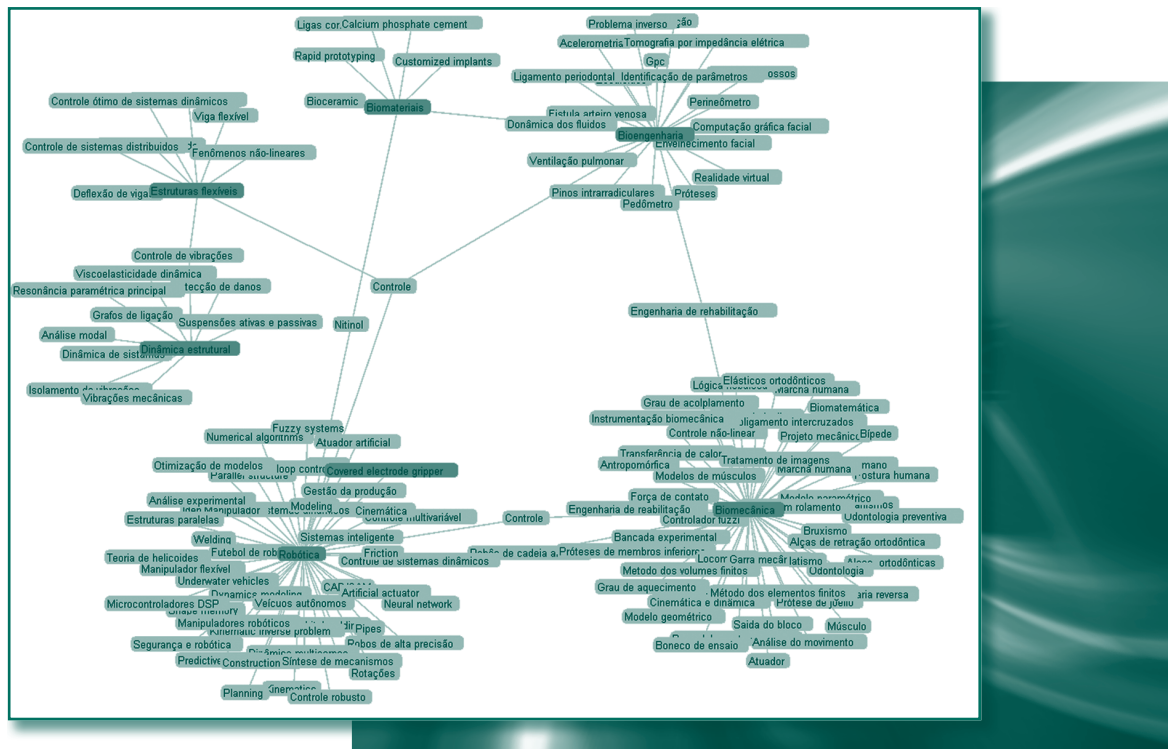
A Figura 4 representa o mapa de conhecimento das pesquisas realizadas na área de Bioengenharia. Originalmente as expressões escolhidas para representar esse comitê foram: Bioengenharia, Biomecânica, Biotecnologia, Biomaterial, Modelagem, Simulação, Robótica, Dinâmica estrutural, Estruturas flexíveis. Como já mencionamos, “Simulação” e “Modelagem” foram classificadas como *stop words*. Coincidentemente, quase todos os demais termos aparecem no mapa de conhecimento da Bioengenharia na condição de centro – ou seja, são expressões que mais co-existem com as

demais palavras-chave. A única exceção é “Biotecnologia”, que aparece na Figura 3 do mapa geral, mas deixou de constar no mapa da Figura 4, devido ao nível de co-relação requerido.

O mapa de conhecimento da Bioengenharia permite constatar que: (a) há termos de interesse de diversos outros comitês da ABCM (ex: “Problema inverso” que também é de interesse, por exemplo, do Comitê de Engenharia Aeroespacial e do Comitê de Ciências Térmicas), confirmando a característica da área do Comitê de forte atuação multidisciplinar; (b) há uma distribuição heterogênea na quantidade de itens de produção técnico-científica dentro da área (ex: “Robótica”

e “Biomecânica” possuem mais itens de produção do que “Biomateriais”); (c) há expressões co-ocorrentes com a maioria das subáreas relevadas (ex: “Controle” está correlacionado com quase todos os centros no mapa); (d) há expressões que revelam a intersecção de pesquisas entre duas subáreas da Bioengenharia (ex: “Engenharia de reabilitação” reflete pesquisas tanto na Bioengenharia como na Biomecânica e “Controle de vibrações” para pesquisas tanto em “Estruturas flexíveis” como em “Dinâmica estrutural”); e (e) erros de digitação nos currículos repetidos em diversas produções técnico-científicas refletem-se no mapa da área (ex: “Fístula arteiro venosa”, “Grau de acolplamento” e “Controlador fuzzy”).

Figura 4 - Parte do mapa de conhecimento livre (com poda) para o Comitê de Bioengenharia.



Considerações finais

Neste trabalho exploramos o universo da pesquisa realizada por 5.328 pessoas com algum grau de ligação à Engenharia e Ciências Mecânicas. Para tal, tomamos como subáreas de análise as classificações em comitês da ABCM. Para cada comitê procuramos selecionar entre as palavras-chave utilizadas nos currículos Lattes, aquelas expressões que melhor descrevem as pesquisas classificadas no referido comitê. Com isso, dos mais de 5 mil currículos, tomamos o subconjunto de 4.019 pessoas e um total de 140 termos selecionados.

No primeiro conjunto de explorações fixamos os 140 termos e geramos dois mapas de conhecimento: um com a totalidade das correlações entre esses termos

e outro retirando (fazendo poda) relações com grau de relacionamento abaixo de determinado limiar. Esses estudos revelaram uma alta intersecção entre as pesquisas de cada comitê, ou seja, as pesquisas classificáveis em um comitê encontram sempre estudos correlatos em um ou mais dos demais comitês.

No segundo conjunto de explorações, procuramos analisar a produção técnico-científica associada aos termos de cada comitê individualmente permitindo que todas as palavras-chave presentes nos currículos pudessem aparecer nos mapas de conhecimento, conforme o grau de correlação entre si e com os termos dos comitês. Esses mapas permitem verificar o grau de

representatividade das expressões escolhidas para cada comitê (se centros do mapa gerado) e analisar aspectos específicos das pesquisas de cada comitê.

Estudos exploratórios como o que apresentamos poderão ser reveladores de conhecimentos estratégicos à atividade de pesquisa, quando agregados de novos recursos da engenharia do conhecimento. Por exemplo, os mapas de conhecimento dinâmicos no tempo (i.e., que consideram a data de publicação) podem revelar surgimento ou desaparecimento de subáreas de pesquisa. Poderão também explorar diretamente hipóteses e verificar tendências (ex: “gestão do conhecimento já faz parte do universo de pesquisa da ABCM?”. “Quando começou a fazer parte?”, “Quem trouxe o tema pela primeira vez?”).

As possibilidades não se limitam à produção de conhecimento. Em realidade, as atividades de planejamento, avaliação e gestão no sistema nacional de ciência, tecnologia, inovação e educação superior têm sido historicamente apoiadas por sistemas de informação clássicos. O que se vê em estudos como o que realizamos nessa atividade exploratória, é que as técnicas de Engenharia do Conhecimento permitem elevar a tomada de decisão a níveis pouco explorados atualmente. Perguntas como “nosso congresso está cobrindo a totalidade das pesquisas e criando espaço suficiente para as tendências que surgem em nossa área?” ou “nosso próximo edital de fomento vai encontrar oferta de conhecimento nas áreas que consideramos estratégicas?”, ou “qual é o programa de pós-graduação que mais influenciou a pesquisa brasileira em nossa área?”, ou “que cursos de graduação são os mais influentes formadores de profissionais que futuramente se ligam à pesquisa e à criação de conhecimento em nossa área?” são exemplos do que ainda pode ser explorado sobre a massa de informações que o País formou na última década.

Esses desafios e os estudos aqui apresentados enquadram-se na área de Engenharia do Conhecimento. Como já alertara Nicholas Negroponte, ainda na década de 90, esta nova engenharia tem como principal diferença o fato de seu objeto ser baseado em bits e não em átomos, ou seja, seu produto é intangível. Entretanto, sua metodologia é, como no caso das demais engenharias, instrumental. As pesquisas nas várias áreas das engenharias podem ser apoiadas pela engenharia do conhecimento, na medida em que esta permite revelar tendências e características, organizar memória, apoiar decisão e planejamento, entre outros desafios da representação de conhecimento. Espaços como este aberto pela ABCM fazem justamente a conexão entre demanda e os desafios à engenharia do conhecimento.

Reconhecimento

Este trabalho só foi possível devido à utilização das fontes de informação da Plataforma Lattes do

CNPq/MCT, do Portal SINAES do INEP/MEC e do Portal Inovação do MCT (sob a responsabilidade de concepção do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE e operação da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI). Os autores também agradecem ao Prof. Antônio José da Silva Neto pela sugestão do tema e apoio na publicação junto à ABCM Engenharia.

Roberto Pacheco, Fernando Forcellini e Vinícius Kern são professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento (EGC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O Dr. Pacheco é, também, coordenador do Programa EGC e pesquisador-líder de projetos em engenharia do conhecimento no Instituto Stela. O Dr. Forcellini é doutor em Engenharia Mecânica e consultor de diversos periódicos da área. O Dr. Kern é diretor de Projetos e Pesquisa do Instituto Stela. Alexandre Gonçalves é pesquisador doutor do Instituto Stela e líder do projeto ISKMM, que objetiva prover suporte às tarefas de extração e recuperação de informação e descoberta e gestão de conhecimento a partir de bases textuais. Wagner Igarashi é pesquisador do Instituto Stela e doutorando do EGC/UFSC.

O EGC/UFSC (<http://www.egc.ufsc.br/>) foi criado em 2004 e tem como objeto de pesquisa o processo de criação, codificação, gestão e disseminação de conhecimento. O Instituto Stela (<http://www.stela.org.br/>) é uma organização sem fins lucrativos cujos principais projetos são plataformas de governo eletrônico, entre elas o Portal Inovação e o Portal SINAES.



Prêmios ABCM

O Comitê de Graduação e de Pós-Graduação divulgou o resultado das premiações referentes a 2007. Os trabalhos premiados serão apresentados por seus autores em Seção Especial do COBEM no dia 11 de Outubro das 14h00 às 15h20.

- Prêmio ABCM Melhor Trabalho no CREEM: **Arthur Heleno Pontes Antunes** (UFU)
- Prêmio ABCM-Mitutoyo Melhor Trabalho em Metrologia: **Francisco Augusto Arenhart** (UFSC)
- Prêmio ABCM Melhor Projeto de Formatura: **Ivan Lairton Thön** (UNIJUI)
- Prêmio ABCM-EMBRAER Melhor Dissertação de Mestrado: **Kleber Vieira de Paiva** (UFSC)
- Prêmio ABCM-EMBRAER Melhor Tese de Doutorado: **Olivier Jacques Marie Wellele** (UFRJ)

Durante o jantar de confraternização ocorrerá a entrega dos prêmios aos agraciados além de certificados aos professores orientadores dos trabalhos e aos professores coordenadores dos programas em que os mesmos foram realizados.

Entrevista com Finn Jacobsen

Professor Associado de Acústica da Technical University of Denmark



AE: *You've been to Brazil two years ago to attend Internoise in Rio and you've visited a few universities. During your visit to Campinas you've mentioned some changes your University was undergoing, namely the breaking down of the old division into departments and institutes by field of knowledge and the reorganization into application-oriented multidisciplinary institutes. Can you explain in what exactly consisted that change and how long did the process take?*

FJ: When I studied myself in the 1970s, Technical University of Denmark (DTU) was divided into four faculties corresponding to the classical engineering disciplines Electrical Engineering, Mechanical Engineering, Civil Engineering and Chemical Engineering, and each faculty consisted of many departments of varying size. Since then there have been many organizational changes at DTU - some of which only affecting a few departments and some of which of a more fundamental nature. Some of the changes have of course been natural consequences of technological developments. It is true that many departments nowadays are more multidisciplinary and application-oriented than they used to be.

Besides, there is a general tendency towards larger departments, and relatively small fields such as for instance mine, acoustics, are nowadays rarely allowed to exist as independent departments, at least in Europe.

Anyway, the process I referred to when I visited your university two years ago took place six years ago. Let me add that very recently many Danish Universities including DTU have been merged with other research institutions. However, the local consequences of this process are still far from clear, so I think we should concentrate on the earlier changes!

I am from a department called Ørsted (after the man who discovered electromagnetism and founded DTU, the Danish scientist Hans Christian Ørsted). This department was formed by merging independent departments concerned with a diversity of topics only vaguely related: physical electronics, signal processing, antennas, radar, robotics, power electronics, medical ultrasonics, and acoustics. Another change is that the head of department used to be a colleague elected by the staff and still teaching and doing research; the management

is now done by full-time professionals. Anyway, after six years we are still not fully integrated for the very good reason that - to give an example - I obviously have more in common with other acousticians who do research in sound fields at universities all over the world than I have with a colleague in the neighboring building who is doing research in power electronics. In short, the process takes time, and groups concerned with widely different fields will probably never have a lot to do with each other even though they are a part of the same department.

Acoustics itself is a decidedly multidisciplinary field that involves physics, mathematics, numerical modeling, and signal processing, and touches upon electronic engineering, biomedical engineering, mechanical engineering, and civil engineering. Acousticians have contact with architects, musicians, medical practitioners, and sociologists, just to mention a few professions. At Acoustic Technology, Ørsted, DTU, we are concerned with sound fields, vibrations, acoustic measurement techniques, architectural acoustics, psychoacoustics and human perception of sound, auditory modeling, and speech. The advantage of this diversity is that we can offer an education in acoustics that is based on research and covers a wide range of acoustic specialties. The disadvantage is that some groups are fairly small, and - as we are now a part of a department focused on electrical engineering - it can sometimes be difficult to convince the management that we should be concerned with, say, mechanical vibrations or transmission of noise in buildings. On the other hand, acoustics in USA is often a part of a department concerned with mechanical engineering, and I am sure such a construction gives rise to similar problems.

AE: *How did the changes affect your work as a professor and a researcher?*

FJ: Not very much. Of course there have been lots of organizational, administrative changes, but for example teaching is largely unaffected. Research is affected only in as far as we sometimes now first have to convince our own head of department that a given project is important. My work is much more affected by other changes that have taken time during the same period. For example, at Acoustic Technology most of our students nowadays are foreign so all our teaching is in English. And since the foreign students have selected us because we offer a master's degree in Engineering Acoustics covering a wide range of acoustic activities they are generally highly motivated - so I am not complaining, we have generally better students than before; and we need good students to get research students.

AE: *How do you see the impacts on the University as a whole of the changes?*

FJ: Well, as you probably have gathered, I really

don't think that the organization means so much.

AE: *Do you think the balance is clearly positive?*

FJ: There is a positive side and a negative side. However, many of the changes we have seen in the past few years would undoubtedly have occurred also if the university had not been reorganized. Nowadays there is, for example, far and away more focus on parameters that can easily be measured, say, the number of publications produced by a given group, how many times the publications have been cited, etc. This is a world-wide tendency, and it has nothing to do with the organization.

AE: *Would you recommend the same kind of changes to any Technological University?*

FJ: I suppose that from time to time it may be a good idea to consider the organization of a university. Over the years some departments may develop groups with considerable overlap but little cooperation, and then it may well be reasonable to consider reorganizing; and from time to time some activities will have to be closed down simply to allow resources to other more important activities. I am a little more skeptical about the positive motivation - the management always talks about synergy and that is usually spin. Anyway, don't reorganize too often! Reorganizing may also involve people spending (I mean wasting) a lot of time, energy and money simply on moving to new buildings.

AE: *What could be improved or which errors could be avoided in the process?*

FJ: Reorganizing universities usually also involves moving resources from some groups to other groups - or closing down some activities. This may be necessary, but it should always be remembered that it will take a lot of time to re-establish a field that has been closed down.



Finn Jacobsen received an MSc in electronic engineering in 1974 and a PhD in acoustics in 1981, both from the Technical University of Denmark. In 1996 he was awarded the degree of Doctor Techniques by the Technical University of Denmark. He served as Head of Department of Acoustic Technology from 1989 to 1997. He teaches in acoustics, and his research interests include general linear acoustics, acoustic measurement techniques and signal processing, and statistical methods in acoustics.



O vôo do primeiro protótipo do Phenom 100 da Embraer

Vivian Silva Mizutani

Nestes tempos difíceis em que nossa aviação parece sucumbir às mazelas humanas, pude presenciar, há instantes, um novo feito que nos traz novas esperanças e um pouco de alegria. O primeiro protótipo do Phenom 100, um avião de pequeno porte (7 pessoas) acabou de fazer seu primeiro vôo inaugural.

Desde as primeiras horas do dia, as pessoas aqui pareciam inquietas, à espera de algo. Aglomerações em torno no hangar onde estava o avião (por acaso justamente onde fica minha sala) mostravam a ansiedade de todos... alguns já com fones de ouvido e captando as primeiras comunicações entre a torre e os engenheiros de vôo e pilotos, através de rádios aeronáuticos.

Finalmente, por volta das 11h, a notícia: o avião estava na cabeceira da pista, pronto para decolar!!! Todos se dirigiram às laterais da pista e ficaram aguardando... a temperatura baixa, o vento frio, nada afastou as pessoas, ávidas pelo grande momento.

Primeiro, um Tucano levanta vôo, preparando-se para acompanhar o protótipo e fazer uma verificação visual de suas condições. Logo depois, um Legacy, que faria as primeiras tomadas de filmagem do vôo inaugural. Já foram aplaudidos, subindo lentamente, como a nos dizerem: estamos vendo vocês, olá pessoal!

Alguns instantes depois, lá vem ele! Decolou ainda no início da pista, com poucos metros percorridos até o nariz descolar do chão. Quando passou por nós, já quase no final da pista, todos aplaudiam, alguns enxugavam lágrimas de emoção, outros tentavam, disfarçadamente, fotografar ou filmar o pequeno "pássaro" (claro, isso é proibido!). Todos vibravam, orgulhosos de fazerem parte, de alguma forma (ainda que pequena), de um projeto, de um sonho que agora se realizava. O Tucano acompanhou o vôo do Phenom por toda a extensão da pista, fazendo junto a curva ao final, subindo e seguindo sempre de perto, dando suporte visual, pro-

curando eventuais problemas que pudessem ser vistos de fora. Nada. Tudo ok !!!

Prosseguiram, voando cada vez mais alto, buscando uma saída entre as nuvens para o céu azul que se abria acima de nós.

Muitas orações acompanharam os pilotos, desejando sucesso e rogando proteção.

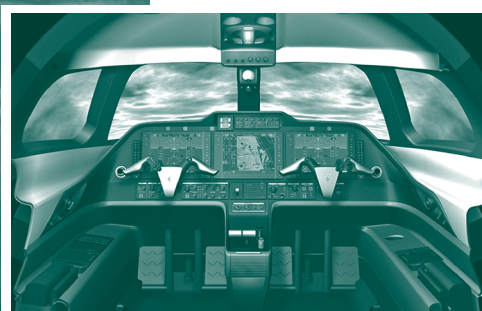
Novamente ansiosos, ficamos aguardando por notícias do pouso e do desempenho do avião. Uma recepção aos pilotos já estava programada, afinal, são eles os heróis do dia.

Após um vôo de uma hora e meia, muitas manobras e testes, anunciaram o retorno da aeronave com uma sirene, característica das ocasiões especiais na empresa. Enquanto as pessoas corriam à lateral da pista, já era possível ver uma equipe de solo posicionada para o pouso: bombeiros, paramédicos, engenheiros envolvidos na análise dos dados do vôo e no apoio à tripulação a bordo do jato.

Finalmente, ele se aproxima... Vem descendo lentamente, toca o solo e rola até onde a multidão o aguarda. Após um instante de suspense, a porta se abre e os pilotos saem, já sabendo o que os espera: um belo jato de água dos bombeiros!!! Nem neste frio de julho o ritual foi deixado de lado! É uma festa só! Todos se aglomeram em volta dos pilotos e do avião, tentando cumprimentá-los e ver o novo rebento de perto. Para muitos, é a primeira chance de tocá-lo, conhecê-lo e quem sabe, talvez um dia ... voar?

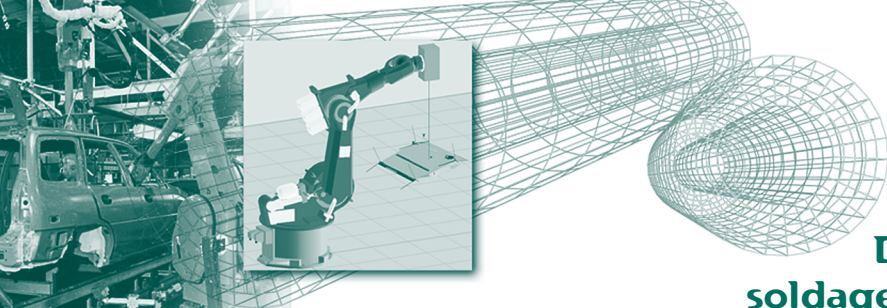
Voltamos então ao trabalho. Um dia diferente, mais feliz que os outros e que nos enche de orgulho de fazer parte de tudo isso...

E mesmo depois deste dia, ainda teremos muito trabalho pela frente até o final deste projeto. Sabemos que disso depende o futuro da empresa e o de todos nós...



Vivian Silva Mizutani é engenheira da Embraer e atualmente cursa a pós-graduação em Engenharia Mecânica na Unicamp.





Desenvolvimentos recentes da soldagem como técnica de fabricação

Ronaldo Paranhos

A soldagem é hoje considerada o mais importante processo industrial utilizado na transformação do aço em produtos acabados. Além de ser usada como técnica de fabricação metálica, é amplamente utilizada em segmentos como manutenção e aplicação de revestimentos protetores de características especiais sobre superfícies metálicas.

O sucesso da soldagem está associado a diversos fatores e, em particular, com a sua relativa simplicidade operacional. Por outro lado, a aplicação de uma elevada densidade de energia em um pequeno volume de material pode levar a alterações estruturais e de propriedades tanto na solda como na zona termicamente afetada do metal base. A engenharia de soldagem envolve conhecimentos em diferentes áreas como a mecânica e metalurgia, física, química, eletricidade, eletrônica, higiene e segurança.

Atualmente, mais de 50 diferentes processos de soldagem têm alguma utilização industrial e a soldagem é o mais importante método para a união permanente de metais. Esta importância é ainda mais evidenciada pela presença de processos de soldagem e afins nas mais diferentes atividades industriais, incluindo segmentos de baixa tecnologia (a indústria serralheira, por exemplo) até os de elevada tecnologia e complexidade (as indústrias nuclear e aeroespacial, por exemplo). Como conseqüência, tem sido observada, ao longo das últimas décadas, uma necessidade constante por novos tipos de aços e ligas metálicas. No desenvolvimento destas ligas, os aspectos de soldabilidade são sempre considerados e incluídos em alguma etapa do projeto, pois invariavelmente estes materiais serão aplicados com o uso da soldagem.

Para avaliar as tendências por onde caminha o desenvolvimento da soldagem como técnica de fabricação metálica, é preciso dividi-las em duas frentes distintas: aspectos relativos à metalurgia da soldagem e aspectos relativos a processos de soldagem.

Aspectos Relativos à metalurgia da soldagem

Diz respeito ao conhecimento dos metais a serem soldados e aos problemas de ordem metalúrgica que podem surgir durante a fabri-

cação por soldagem, devido às características dos consumíveis de soldagem ou as conseqüências do ciclo térmico de soldagem à zona termicamente afetada pelo calor do metal base. Esses problemas podem se manifestar como defeitos (poros, fissuras, inclusões de escória, etc) ou perda de propriedades físicas e mecânicas na junta soldada, como exemplo, formação de fases frágeis, perda de ductilidade, etc.

Em relação aos aços, os avanços obtidos nas últimas duas décadas em sua tecnologia de fabricação foram muito benéficos à soldagem. O grau de limpeza alcançado as técnicas de desoxidação e desgaseificação a vácuo atualmente usadas para o controle de impurezas facilitaram sobremaneira evitar a ocorrência de problemas de ordem metalúrgica durante a soldagem.

Os consumíveis de soldagem, por se tratarem de produtos fabricados em aço, também se beneficiaram dos desenvolvimentos por que passou a indústria siderúrgica. Os fabricantes de consumíveis entenderam há muitos anos a necessidade de controlar as impurezas, principalmente o S e P, manter o teor de carbono o mais baixo possível e a usar matérias-primas beneficiadas adequadamente. Ainda foram desenvolvidos consumíveis adequados a aplicações específicas, de forma que hoje em dia há uma grande variedade de tipos de consumíveis disponíveis e o trabalho resume-se em escolher o mais adequado à aplicação que se deseja fazer.

Aspectos Relativos a Processos de Soldagem

Diz respeito a inovações dos processos e técnicas de soldagem, que visam principalmente a melhoria da produtividade e qualidade (repetibilidade) em operações similares. Quanto a este aspecto, nota-se um grande desenvolvimento na área de soldagem.

Durante as duas últimas décadas, a indústria testemunhou uma enorme mudança na forma como os produtos são soldados e manufaturados. Muito dessa metamorfose

Qualidade e produtividade são as palavras de ordem do segmento industrial de fabricação por soldagem para os próximos anos. A automação e mecanização dos processos de soldagem cada vez mais ganham espaço no contexto industrial para tornar a soldagem uma técnica de fabricação competitiva. Processos de soldagem como o MIG-Brazing, soldagem com múltiplos arames e soldagem a laser são alguns dos processos que ganharão mercado nos próximos anos.

surgiu devido ao uso de equipamentos de soldagem automatizados e mecanizados, como também à introdução de novos processos de soldagem.

Técnicas modernas de instrumentação e controle foram absorvidas pela soldagem, juntamente com os desenvolvimentos na área de robótica e informática. Isto possibilitou o desenvolvimento de sistemas com maior grau de mecanização e automação e, em alguns casos, capacidade de tomada de decisão e alteração dos parâmetros de soldagem, durante o processo, independentemente do operador. Por fim, estes novos equipamentos se tornaram menores e mais eficientes, com menor custo de fabricação e manutenção.

Assim, duas frentes interligadas, porém distintas, surgiram e serão temas para desenvolvimentos nos próximos anos: (a) a automação e mecanização da soldagem e (b) o desenvolvimento de novos processos de soldagem que aceitem trabalhar sob os novos conceitos de automação.

Automação e mecanização da Soldagem

Para se tornar competitiva, a fabricação de equipamentos e peças por meio de soldagem requer um grau de automação maior ou menor, dependendo da geometria da peça de trabalho, da disponibilidade de investimento e da avaliação de objetivos.



maior ou menor, dependendo da geometria da peça de trabalho, da disponibilidade de investimento e da avaliação de objetivos.

Dispositivos e Manipuladores: Têm sido usados nos últimos 40 anos com a função de fixar a peça e promover movimentos que proporcionam ao soldador ou operador a execução do cordão de solda de maneira rápida e eficiente. São usados associados aos processos de soldagem por resistência elétrica, MIG-MAG, TIG, arame tubular e arco submerso. A principal característica desses equipamentos é que realizam tarefas pré-definidas sem que ocorra a interferência do homem. Existem dispositivos que se adaptam a diversos tipos de peças (rolos viradores, mesas posicionadoras e manipuladores universais), além de dispositivos especiais, que combinam posicionamento das peças e sistema automático de soldagem. Várias empresas especializaram-se em fabricar e fornecer este tipo de automação à indústria metal-mecânica. Apesar desses dispositivos e manipuladores serem considerados como automação pesada, observa-se cada vez mais que recursos de eletrônica e softwares são acoplados e usados, tornando-se mais flexíveis e executando novas tarefas de controle durante a soldagem. Assim, recursos como plc's para comandar início e fim da solda, sensores óticos para identificar a posição da solda, câmeras de vídeo, entre outros, são cada vez mais usados em novas soluções de automação de operações de soldagem.

Robôs: Começaram a ser usados mais recentemente para operações de soldagem. O primeiro processo de soldagem a ser robotizado foi a soldagem a ponto por resistência elétrica, surgida na década de 70. A robotização deste processo, introduzido inicialmente na indústria automobilística, mudou completamente a concepção da linha de produção de automóveis, pois a precisão e a produtividade aumentaram significativamente. Atualmente, o processo de soldagem MIG-MAG é o mais utilizado em soldagem robotizada. Entretanto, a soldagem a laser e a plasma também possui interface com os robôs industriais atualmente em uso e tendem



a aumentar sua utilização no futuro próximo. Várias empresas especializaram-se em fornecer soluções completas para a robotização de operações de soldagem.

Para se entender o papel da automação e robotização, os processos de soldagem podem ser caracterizados como manual, semi-automático, mecanizado, automático e robotizado. As características estão mostradas na Tabela 1, onde são especificadas as distintas operações do ciclo de soldagem e por quem (soldador ou máquina) estas atividades são realizadas.

A escolha de um robô adequado para uma operação de soldagem deve ser considerada como uma ciência, envolvendo diversos especialistas de distintas áreas. Os principais critérios a serem observados são: grau de liberdade, envelope de trabalho (espaço onde trabalha), destreza (precisão), fonte de energia, repetibilidade, velocidade, capacidade de carga e tipo de acionadores. Ainda, devem ser especificadas: a técnica de programação, sistema "feedback" de controle, tamanho da memória e do arquivo de backup, armazenamento do programa, interfaces e softwares especiais de soldagem.

A utilização de robôs vem crescendo no Brasil, ainda que a base instalada seja pequena quando comparada aos países desenvolvidos. Estima-se que no país exista pouco mais de 2,5 mil unidades de robôs industriais instalados no final de 2000, a grande maioria na indústria automotiva. Entretanto, observa-se um grande crescimento na instalação de robôs nos últimos anos, devido à instalação de novas montadoras e à expansão das linhas já existentes. O mercado de robôs cresce pela exigência de maior produtividade, qualidade (repetibilidade) e redução de custos. Ainda, as indústrias automotivas começaram a exigir que seus fornecedores, os fabricantes de autopeças, também automatizassem seus processos, de forma que toda a cadeia produtiva da indústria automotiva tende a implantar processos de fabricação robotizados no futuro próximo.

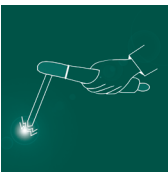
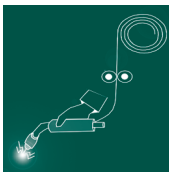
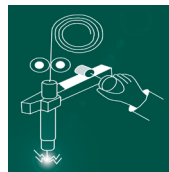
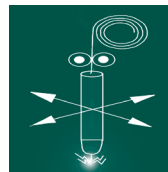
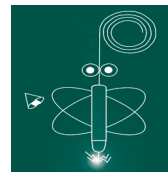
Método e aplicação	Manual	Semi-automática	Mecanizada	Automática	Robotizada
Soldagem a arco Elementos e funções					
Início e manutenção do arco elétrico	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
Avanço do eletrodo no arco elétrico	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina
Controle de energia para adequada penetração	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
Deslocamento do arco elétrico ao longo da junta	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
Guia do arco elétrico ao longo da junta	Pessoa	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina (com sensor)
Manipulação da tocha	Pessoa	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina (com sensor)
Correção do arco elétrico em desvios	Pessoa	Pessoa	Pessoa	Não corrigem imperfeições detectadas	Máquina (com sensor)

Tabela 1 Características dos processos de soldagem quanto ao grau de automação.

Processos de Soldagem

As indústrias que utilizam a soldagem como técnica de fabricação, apresentam um constante desenvolvimento dos processos de soldagem. Aqui serão abordados alguns exemplos de processos que têm demonstrado interesse e crescimento atualmente, embora muitos outros casos existam.

MIG Brazing

A redução dos danos causados pela corrosão tem levado muitas empresas a fazer uso extensivo de chapas e peças com tratamento superficial. Chapas zincadas têm sido cada vez mais utilizadas, uma vez que aliam boa resistência à corrosão a um custo relativamente baixo. Entretanto, o zinco possui baixa temperatura de fusão (em torno de 405°C) e vaporização (em torno de 906°C), e estas características apresentam um efeito muito desfavorável durante a soldagem por processos a arco elétrico convencionais. Isto porque as temperaturas atingidas na região da solda, acima de 1540°C, causam a vaporização e a oxidação do zinco. No cordão de solda, vapores de zinco podem gerar uma série de descontinuidades como poros, falta de fusão e trincas. Na região adjacente à solda, i.e., na zona termicamente afetada pelo calor do metal base, a queima do zinco reduz sensivelmente a resistência à corrosão, provocando locais favoráveis ao início da corrosão.

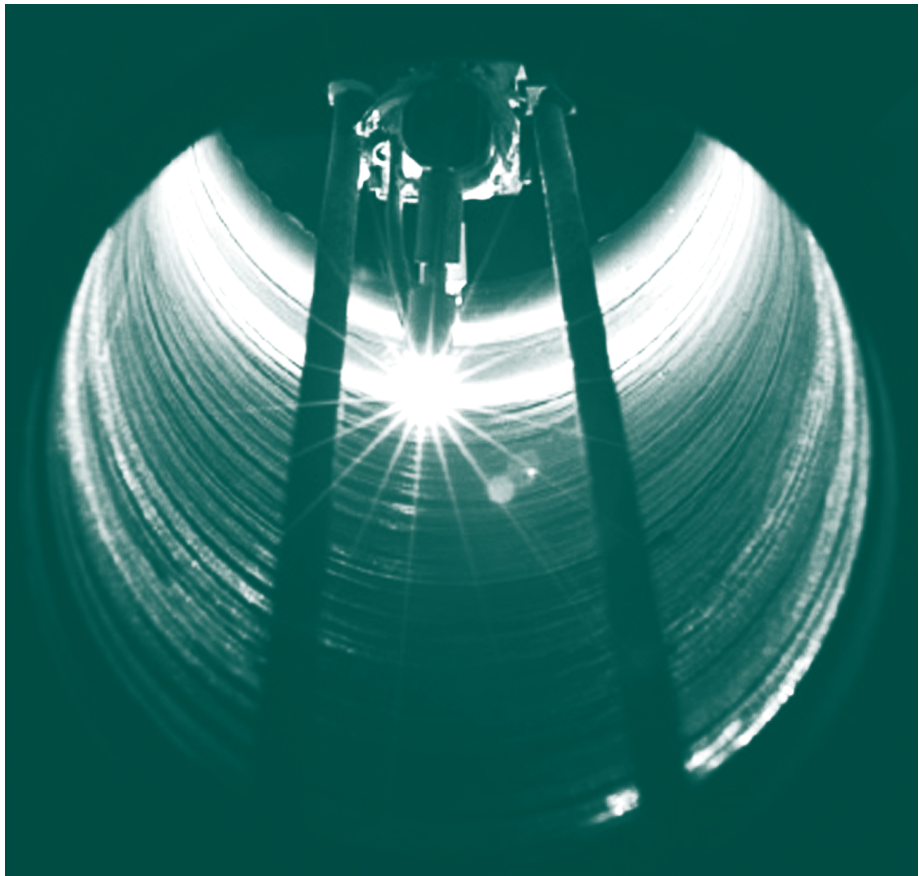
Um método alternativo que está ganhando espaço atualmente para a soldagem de chapas galvanizadas é a utilização da brasagem por arco elétrico, usando como metal de adição arames de bronze-silício ou bronze-alumínio e como fonte de calor o processo de soldagem MIG. Esta consegue conciliar os benefícios da brasagem com as vantagens do processo MIG. A união das partes ocorre de forma similar à brasagem, ou seja, sem haver fusão das mesmas, não afetando as propriedades mecânicas do metal de base, incluindo o revestimento protetor. O processo MIG contribui com elevada taxa de deposição e alta velocidade de soldagem, além da fácil automação e robotização, tornando-se adequado à produção seriada de elevada produ-

vidade. As juntas soldadas têm como características: baixo aporte térmico, elevada resistência à corrosão e adequada resistência mecânica.

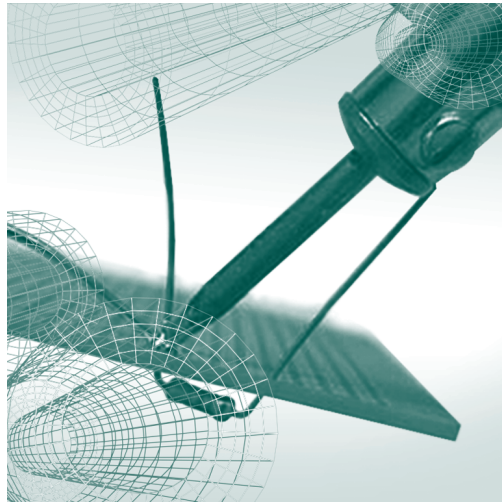
Soldagem com Múltiplos Arames

Processos de soldagem que usam múltiplos arames têm sido cada vez mais utilizados na soldagem de fabricação do aço. A taxa de deposição é consideravelmente aumentada (até 25 kg/h), o que permite trabalhar com alta velocidade de soldagem (até 4 m/min), reduzindo significativamente o tempo de fabricação das peças e o número de estações de trabalho. Invariavelmente, são usados com automação pesada ou em estações robotizadas e a mecanização da soldagem mais uma vez torna-se fator importante associado a esses processos.

Duas configurações distintas de usos de múltiplos arames em soldagem são disponíveis: (a) técnica de arco gêmeo (twin-arc), onde dois arames são conectados em paralelo em uma única fonte de energia, formando um único arco elétrico e uma única poça de fusão e (b) técnica de arcos múltiplos (tandem-arc), onde dois ou mais arames são alimentados para uma mesma poça de fusão, sendo que cada eletrodo forma um arco elétrico distinto, controlado separadamente por cabeçote e fonte de energia independente. Em ambas, os processos de soldagem a arco submerso e MIG-MAG podem ser usados.

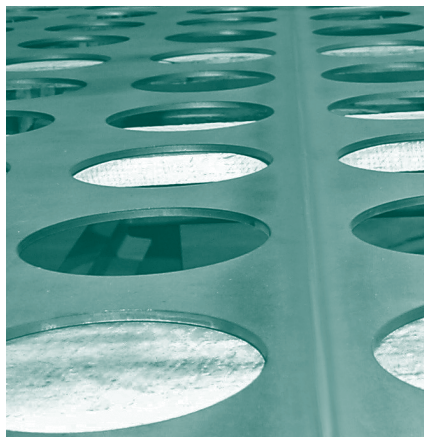


O tandem arco submerso é usado na fabricação de tubos (pipelines) e na indústria naval. Pode trabalhar com até 6 tochas (arcos) independentes. Atinge velocidade de soldagem de 1,5 a 3,5m/min e pode ser usado para chapas de 7 a 40 mm de espessura com técnica de soldagem em dois passes. O tandem MIG é usado em soldas de passe simples, como rodas de automóveis e caminhões, botijões e tanques de gás. Atinge velocidade de soldagem de 3,5 a 5,0 m/min e aceita o uso de automação pesada ou robôs.



Soldagem a Laser

É um processo de altíssima densidade de energia e não depende exclusivamente da condução térmica para alcançar uma determinada profundidade de penetração, característica esta bastante distinta dos processos de soldagem convencionais a arco elétrico. Os lasers predominantemente utilizados para soldagem são o



laser no estado sólido de Nd:YAG, com comprimento de onda de 1,06 μm , e o laser a gás de dióxido de carbono (CO_2), com comprimento de onda de 10,6 μm , embora outros tipos e variações estejam sendo estudados.

O laser tipo gasoso CO_2 é atualmente o mais utilizado industrialmente para soldagem, devido à sua simplicidade e confiabilidade, atingindo potência média de saída de até 50 kW em modo contínuo. A eficiência elétrica do laser CO_2 , definida pela razão entre a potência de saída do laser e a potência elétrica de entrada, é da ordem de 10%.

O laser tipo sólido Nd:YAG é atualmente dispo-

nível com potência média de saída de até 4 kW. Pode ser operado em dois modos: contínuo ou pulsado, sendo que neste último a potência de pico do pulso pode atingir até 50 kW, com duração do pulso entre 0,2 a 20 ms e frequência de 1 a 500 Hz. A eficiência elétrica do laser Nd:YAG é baixa, na faixa de 0,5 a 3%. Uma vantagem do laser Nd:YAG é que a radiação laser poder ser conduzida através de fibra ótica, devido ao comprimento de onda de 1,06 μm situar-se dentro da faixa em que as fibras óticas apresentam baixa atenuação. Assim, a radiação laser pode percorrer centenas de metros com perda mínima, tornando-se bastante interessante para aplicações em sistemas robotizados.

Os parâmetros de soldagem com o processo laser são bastante mais distintos que os definidos para os processos de soldagem a arco elétrico. O formato, a profundidade e outras características da solda são determinados pela maneira como a energia de soldagem é aplicada à junta. Na soldagem a laser, o formato do cordão é controlado pela combinação dos seguintes parâmetros: focalização (diâmetro e distância focal), potência do laser, velocidade de soldagem e composição e vazão do gás de proteção. A otimização destes parâmetros define as condições de soldagem e determina se uma solda será boa ou ruim.

Ronaldo Paranhos Engenheiro Metalúrgico, MSc, PhD em Tecnologia da Soldagem, a 28 anos trabalhando com processos, metalurgia e automação da soldagem. Atualmente, é Professor Associado do LAMAV/CCT/UENF, Diretor de Projetos de UENF, Editor Associado da Revista Soldagem & Inspeção e Diretor da Incubadora de Base Tecnológica de Campos dos Goytacazes (Tec-Campos). E-mail: paranhos@uenf.br.

Onde obter mais informações sobre o tema:

www.infosolda.com.br - Site dedicado à informação tecnológica em soldagem, corte e END, com artigos e apostilas grátis para download, além de livros, fitas de vídeo e cd's.

Sites sobre automação em soldagem:

www.metalpress.com.br
www.ransome.cat.com
www.gullco.com
www.jetline.com

Sites sobre robótica na soldagem:

www.fanucrobotics.com
www.robotics.org
www.motoman.com
www.abb.com
www.motoman.com

Revista Soldagem&Inspeção, com artigos científicos, publicada trimestralmente pela ABS - Associação Brasileira da Soldagem. Pela internet, pode ser acessada por <http://www.abs-soldagem.org.br/s&i>.



As Leis do Atrito: da Vinci, Amontons ou Coulomb?

Amilton Sinatora e Deniol Katsuki Tanaka



A mostra “*Leonardo da Vinci - A Exibição de um Gênio*” das obras de *Leonardo di ser Piero da Vinci* (1452-1519), conhecido como *Leonardo da Vinci* ou simplesmente *da Vinci*, na OCA, em São Paulo, desde 1º de março de 2007, permitiu ver de perto uma parte apreciável das obras em engenharia do gênio renascentista italiano.

Leonardo da Vinci destacou-se em vários campos

do conhecimento humano: das artes às ciências exatas, passando pela engenharia. Estima-se que ele escreveu ca. 13.000 páginas e que somente ca. 7.000 são conhecidas [White, 2002] e estão espalhadas por diversos museus em obras denominadas, cada uma delas, de CODEX, sendo a descoberta mais recente de 1966, conhecido como Codex Madrid.

Os seus trabalhos em Engenharia Mecânica co-

nhecidos até a década de 1930 foram compilados pelo Prof. Arturo Uccelli [Vinci, 1940], que publicou a obra *I Libri di Meccanica*, em 1940, pela editora Ulrico Hoepli de Milão. Exemplares desta obra encontram-se nas Bibliotecas da Escola Politécnica e da Escola Superior de



Capa do livro de Leonardo da Vinci compilado por Arturo Uccelli. [Vinci, 1940]

Agronomia Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo. Neste livro existe um capítulo intitulado *De Confregazione* que trata especificamente de atrito [Vinci, 1940].

Quando se fala em atrito, a primeira dificuldade é entender corretamente o significado desta palavra. Da Vinci, em todos os seus trabalhos relacionados com este assunto, fala de *esfregamento* (confregazione - *ressalte-se que da Vinci não utilizou a palavra atrito que, também, tem origem no latim e não conceitua claramente o fenômeno*). Da Vinci, trata apenas da força requerida para diminuir o movimento [Manuscrito E e Codices Atlanticus e Forster II; op. Cit. Vinci, 1940]. As obras que tratam dos trabalhos do da Vinci, editadas na língua inglesa, falam em *atrito* (*friction*) ou *força de atrito* [Vinci, sd]. Cabe ressaltar que há uma distinção muito clara na língua inglesa entre *friction* (atrito) e *rubbing* (esfregamento). Em português existe uma persistente confusão decorrente do emprego de expressões como “*desgaste por atrito*” que tentam explicar o desgaste que ocorre devido ao esfregamento, ou deslizamento, entre corpos. Com a distinção entre atrito e esfregamento, seria possível diferenciar o desgaste por deslizamento (ou esfregamento) do atrito no deslizamento (ou no esfregamento). Outras confusões decorrem quando se usa a palavra atrito para transmitir quatro significados distintos: a força de atrito, a energia dissipada na região do contato, o coeficiente de atrito ou o fenômeno atrito.

Esta discussão, aparentemente inútil ou desnecessária, é fundamental para muitas aplicações em engenharia mecânica, particularmente quando se discute sistemas mecânicos de acionamento e freio, ou ainda do movimento de pneus contra pavimentos. Normalmente quando se fala em *atrito* imagina-se que os corpos, com movimento relativo, estão fisicamente em contato e a Primeira Lei do Atrito é dada por:

$$\mu = \frac{F_T}{F_N}$$

Onde: μ - coeficiente de atrito;

F_T - a força que provoca ou resiste ao movimento;

F_N - a força normal aplicada ou o peso do corpo em movimento.

No entanto, no caso de um pneu rolando sobre o pavimento, este conceito de *atrito* não pode ser aplicado. O mesmo ocorre no caso dos freios magnéticos onde não há contato físico entre os corpos. Nestes casos, é mais adequado empregar a conceituação de *da Vinci* para o atrito que é a “resistência ao movimento”.

No caso do freio magnético o atrito seria a potência elétrica necessária para imobilizar o corpo.

No caso do pneu, o atrito seria a variação da energia total envolvida no contato, isto é a energia de adesão do pneu ao pavimento; o calor produzido no deslizamento sobre o pavimento; a energia de superfície criada no processo de desgaste (geração de cavacos por corte ou por propagação de trinca de fadiga); a energia térmica gerada pela deformação elasto-plástica da borracha (material histerético); e a energia físico-química envolvida na alteração molecular (cisão molecular e transformação das ligações polisulfídicas em bisulfídicas); entre outros.

As duas primeiras *Leis do Atrito*, usualmente aceitas, são atribuídas a Amontons (*Guillaume Amontons 1663-1706*) ou a Amontons e Coulomb [Czichos, 1978]:

1ª Lei do Atrito: *A força de atrito é proporcional à força normal; e*

2ª Lei do Atrito: *A força de atrito é independente da área aparente de contato.*

A terceira lei é atribuída a Coulomb (*Charles Augustin de Coulomb 1736-1806*) [Hutshings, 1992 e Dugas, 1988] e é formulada como:

3ª Lei do Atrito: *A força de atrito é independente da velocidade de deslizamento.*

Além destas leis universalmente aceitas, da Vinci [Vinci, 1940] ainda havia registrado:

1. A força de esfregamento depende da natureza dos materiais em contato;
2. A força de esfregamento depende do grau de acabamento das superfícies em contato;
3. A força de esfregamento depende da presença de um fluido ou outro material interposto entre as superfícies; e
4. A força de esfregamento aumenta com a pressão aplicada por um corpo contra o outro.

Freqüentemente, entretanto, os livros de *Mecânica Geral* referem-se ao atrito que ocorre a seco como *Atrito de Coulomb* [Beer, 2006; Tenenbaum, 2006], ou ainda atribuem as *três leis do atrito* (a seco) a Coulomb [França, 2004; Boresi, 2003], não mencionando Amontons e *da Vinci*.

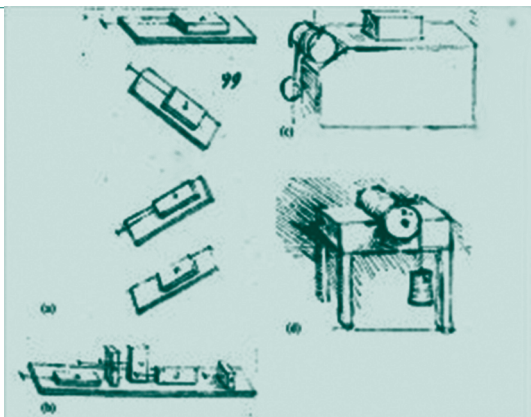
O que é importante, entretanto, para o desenvolvimento e para a transmissão do conhecimento sobre *atrito* é o fato da contribuição de Amontons ter sido registrada no *Memoires de l'Académie des Sciences* da França em 1699 [Dugas, 1988]. Isto permitiu que se es-

tabelecesse o vínculo entre o seu trabalho de pesquisa e o de Coulomb em 1781, em resposta ao desafio científico, sobre o tema atrito, proposto pela Academia. Isto ressalta a importância da publicação das idéias e dos resultados num veículo de divulgação adequado, mesmo que em Anais, para não ficar perdido em anotações individuais, como ocorreu com os trabalhos de *da Vinci*.

O registro e a divulgação, bem como a discussão do seu trabalho científico, tornou Amontons conhecido e criou o paradigma científico. Por outro lado, se a literatura atribuiu a Coulomb a forma final das "**Leis do Atrito**", muitas vezes distorcendo o trabalho deste pesquisador, essa atribuição ocorreu por propagação do paradigma, que é uma característica do desenvolvimento científico. Cabe destacar também que a contribuição de Coulomb sobre o atrito, de modo geral, está excessivamente simplificada na literatura.

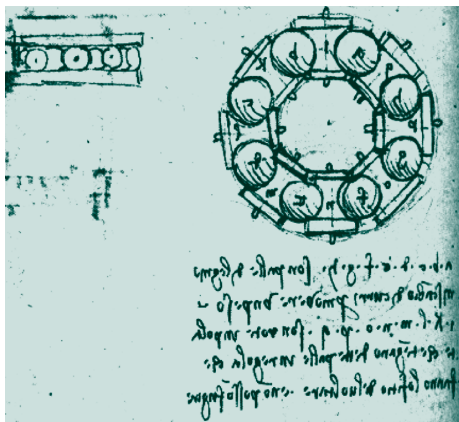
Na história da discussão sobre o **atrito**, *da Vinci* foi praticamente esquecido ou ignorado, principalmente a primazia deste mestre ter desenvolvido e realizado experimentos para a medição do **atrito** como ilustra a Figura 2.

Desenhos ilustrativos do Leonardo da Vinci para medições de atrito em corpos planos e cilíndricos (mancal-eixo) [Vinci, sd].



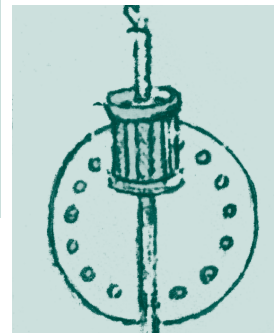
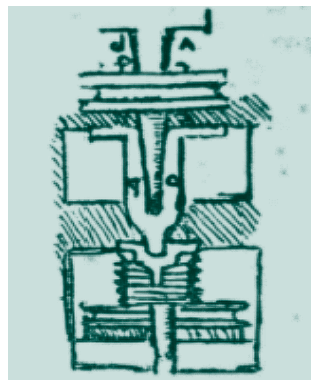
Na sua genialidade, Leonardo da Vinci foi também pioneiro em muitos outros aspectos da engenharia mecânica, tendo estudado, inclusive, a lubrificação (item *iii* acima) e a influência do acabamento superficial (item *ii* acima), além de ter idealizado o rolamento (elemento de máquina) para minimizar o atrito (Figura 3).

Desenhos ilustrativos de rolamento de Leonardo da Vinci [Vinci, sd].



Ou seja, mais uma vez a história é mais complicada, e interessante, do que relatam os livros textos! Entretanto, abstendo-se, no momento, de discutir cada um dos importantes aspectos acima e relacioná-los com os progressos posteriores em tribologia (estudo do atrito, desgaste e lubrificação) o que cabe ressaltar é o papel pioneiro deste Engenheiro italiano (como ele própria se auto-intulava [White, 2002]). Assim, cabe a Leonardo da Vinci a primazia da construção de equipamentos para estudo experimental do atrito (e do desgaste Figura 4 a. e b.) bem como a primazia na formulação das **Leis do atrito** (só reconhecido no século XX) e a sua relação com os sistemas mecânicos.

Desenhos ilustrativos de máquina para ensaio de desgaste de Leonardo da Vinci [Vinci, sd].
a) Ensaio de abrasão;
b) Ensaio de desgaste de dentes de engrenagem.



Entretanto, do ponto de vista da evolução do conhecimento sobre atrito, a contribuição de *da Vinci* foi "*inútil*" (no sentido de não ter tido utilidade) por séculos, uma vez que, embora suas descobertas tivessem sido registradas, não foram divulgadas, não percolaram à comunidade de estudiosos de sua e de várias gerações posteriores, até a "*redescoberta*" (criação) dos princípios (leis) de atrito por Amontons, no século XVIII. O grande renascentista merece, também, o reconhecimento por suas contribuições neste campo extremamente complexo do conhecimento como declarado pelo Prof. Feynman (*Richard Phillips Feynman 1918-1988*), Premio Nobel de física em 1965, "*É difícil realizar experimentos quantitativos em atrito e as leis do atrito ainda não são compreendidas muito bem, apesar do seu enorme valor na engenharia e que carece de uma análise precisa*" [Feynman, 1963].

Esta nota objetiva, portanto, defender o ponto de vista de que as **duas Leis do Atrito**, ao contrário de parte da literatura internacional, devem ser citadas como **Leis do Atrito de Amontons-da Vinci**. O nome do Amontons deve vir antes do de *da Vinci*, pelo grande mérito deste cientista francês ter redescoberto e, notadamente, por ter difundido estas Leis. Esta difusão, por decorrência, foi responsável pelo estabelecimento da **Terceira Lei do Atrito** por Coulomb, como anteriormente dito. Com isto estaremos, também, prestigiando

e reconhecendo os trabalhos de *da Vinci* no campo da tribologia por seu pioneirismo. Estas considerações já haviam sido feitas pelo Prof. Dowson [Dowson, 1979], em obra pouco divulgada no Brasil.

A questão da denominação das leis, como proposto acima, seria uma injustiça com Leonardo da Vinci uma vez que este teve a primazia da idéia? Cremos que não. A dispersão de suas obras [White, 2002] privou a humanidade de desfrutar, compartilhar e evoluir a partir das suas criações e descobertas. Devido a esta dispersão, da Vinci não pôde ser inserido e reconhecido na seqüência histórica da evolução do conceito de atrito.

Assim sendo, o que nos parece adequado é homenageá-lo por sua primazia e clarividência e ao mesmo tempo reconhecer a importância de Amontons no desenvolvimento do pensamento científico sobre o tema.

Assim, Amontons tem o grande mérito de divulgar e defender, perante a comunidade científica, as **Leis do Atrito**, e ter contribuído para a evolução dos conhecimentos em tribologia, particularmente motivando trabalhos subseqüentes, como as do Coulomb e de muitos pesquisadores em vários laboratórios ao redor do mundo, incluindo o Laboratório de Fenômenos de Superfícies - LFS do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Referências

- BEER, Ferdinand P.; JONHSTON, Jr., E. Russel & EISENBERG, Elliot R. *Mecânica Vetorial para Engenheiros – Estática*, Rio de Janeiro, McGraw Hill, 2006, 622p. ISBN 85-86804-45-2.
- BORESI, Arthur P.; SCHMIDT & Richard J. *Estática*, São Paulo, Thomson, 2003, 673p. ISBN 85-221-0287-2.
- CZICHOS, H. *Tribology – a systems approach to the science and technology of friction, lubrication and wear*. Elsevier, Amsterdam, 1978. p. 4, ISBN 0-444-41676-5.
- DOWSON, D. *History of Tribology*. London, Longman, 1979. p. 99. ISBN 0-582-44766-4
- DOWSON, D. *Wear oh where? Wear*, v.103, p. 189 -203. 1985.
- DUGAS, René. *A History of Mechanics*. New York, Dover, 1988, pp 319 – 322.
- FEYNMAN, R.; P. Leighton & SANDS, M. *The Feynman Lectures on Physics*, 1970. ISBN 0-201-02115-3.
- FRANÇA, Luis Novaes Ferreira & MATSUMURA, Amadeu Zenjuro, *Mecânica Geral 2ª Edição*, São Paulo, Edgard Blücher Ltda: Instituto Mauá de Tecnologia, 2004, 235p. ISBN 85-212-0341-1.
- HUTCHINGS, I. *Tribology, friction and wear of engineering materials*. Edward Arnold, London, 1992. p. 23, 1992. ISBN 0-340-56184-X.
- TENENBAUM, Roberto A., *Dinâmica Aplicada*. 3ª Edição Revisada e Ampliada. Barueri, Manole, 2006, 792 p. ISBN 85-204-1518-0.
- VINCI, Leonardo da. *I Libri di Meccanica* [Comp] Arturo Uccelli. Milão, Ulrico Hoepli, 1940. 673p.
- VINCI, Leonardo da. *Leonardo da Vinci*. New York, Reynold, sd. 538 p.
- WHITE, Michael. *Leonardo. O primeiro cientista*. Rio de Janeiro, Record, 2002. 361p. ISBN 85-01-06098-4.

Amilton Sinatora (sinatora@usp.br) e **Deniol Katsuki Tanaka** (dktanaka@usp.br) são Professores Titulares do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da USP.



Dinâmica Veicular na ABCM regional de Campinas

Aconteceu nos dias 7, 8 e 9 de agosto de 2007 o **Short Course of Vehicle Dynamics**, ministrado pelo Prof. Dr.-Ing. Georg Rill, e organizado pela ABCM Regional de Campinas e pelos anfitriões do pesquisador, professores Douglas Eduardo Zampieri e Pablo Siqueira Meirelles, da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas.

O curso teve duração de 18 horas e contou com mais de 60 participantes da academia e do setor industrial automobilístico, entre membros da ABCM e da SAE BRASIL (Associação de Engenheiros da Mobilidade), com enfoque em realidade virtual e prototipagem através de modelos matemáticos voltados à simulação em tempo real.

O Prof. Georg Rill é o atual Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Ciências



Aplicadas de Regensburg, na Alemanha. Especialista nas áreas de dinâmica veicular e multicorpos, é consultor de algumas das mais renomadas empresas da área automobilística, entre elas: Daimler-Benz, Ford, MAN e ZF. Publicou em 1994 pela Vieweg-Verlag o livro intitulado *Simulation von Kraftfahrzeugen*.



XIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica

O XIV CREEM foi realizado em Uberlândia, MG, entre os dias 6 e 10 de agosto de 2007 e teve um número recorde de participantes. O evento reuniu 542 participantes de 13 estados brasileiros e duas universidades do exterior. Foram apresentados 203 trabalhos, sendo que os dez melhores trabalhos foram premiados na cerimônia de encerramento. Além disso, houve também 13 mini-cursos, 9 palestras, 15 visitas técnicas e vários eventos culturais à disposição dos participantes. O CREEM 2007 obteve sucesso em toda a sua execução e proporcionou a todos os participantes as melhores condições de aprendizado.

Os três melhores trabalhos premiados foram: em 1º Lugar, "Avaliação Experimental de um sistema de refrigeração com a variação da rotação do compressor," de Arthur H. Pontes Antunes da UFU; em 2º Lugar "Análise em elementos finitos de uma nova concepção de carretel de um sensor hidráulico de velocidade", de Matheus Ibagy Pacheco da UFSC; em 3º Lugar "Estudo Experimental da utilização do método da impedância eletromecânica para análise da influência da posição de pastilhas PZT em relação à falhas estruturais", de Carolina Bittencourt da UFU.

A Comissão Organizadora, presidida por Pedro Henrique Garcia Gomes, teve como professor coordenador o Prof. Rafael Ariza Gonçalves. A comissão foi integrada pelos alunos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica: Diogo de Souza Rabelo (Secretariado), Marco Aurélio Moura Suriani (Secretariado), Ricardo Hiroyoshi Haguimoto (Secretariado), Carlos Hanieri de Freitas Oliveira (Eventos), Carla Marina de Sousa Ferreira (Marketing), Gilmar Ângelo de Moura (Marketing), Thiago Sincinato (Marketing), Vinícius Rodrigues (Marketing), Felipe Tannús Dórea (Financeiro) e pelos docentes: Prof. Dr. Enio Pedone Bandarra Filho, Prof. Dr. Louriel Oliveira Vilarinho e Prof. Dra. Vera Lúcia D. S. Franco.

A Comissão Organizadora do CREEM 2007 agradece a todas as comitivas de estudantes dos mais diversos locais do país que vieram prestigiar nosso even-

to, aos palestrantes de várias instituições do país, aos engenheiros que atuam nas empresas que apoiaram o evento, às empresas e patrocinadores, à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, seus docentes e técnico-administrativos, e à ABCM. Sem a colaboração e a presença de vocês este evento não teria sido possível.



Mesa de abertura do XIV CREEM, composta pelo presidente da ABCM, coordenadores dos cursos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica da UFU, o aluno representante da comissão organizadora e o idealizador do CREEM, Prof. Dr. Miguel Hiroo Hirata, da UERJ.



Comissão organizadora do XIV CREEM. Da esquerda para a direita, Diogo Rabelo, Felipe Tannus, Thiago Sincinato, Vinícius Rodrigues e Ricardo Haguimoto.

Notícias da ABCM Regional de Santa Catarina

Em 2006 e 2007, o nome da ABCM esteve associado à realização do 14º IHPC - Conferência Internacional sobre Tubos de Calor, ocorrida em maio de 2006, em Florianópolis. Dois outros eventos estão sendo organizados com a participação efetiva da Regional ABCM: o 1º EBCEM, em abril de 2008 e a 7ª ICBHT - Conferência Internacional sobre Transferência de Calor em Ebulição, em maio de 2009. A Regional também promoverá, a partir de setembro, uma série de palestras, com frequência mensal, sobre temas variados da área de Engenharia Mecânica. A divulgação da ABCM entre os alunos tem sido feita mas ainda deve ser intensificada, principalmente no interior do Estado.

Chamada de trabalhos

Você está convidado a enviar trabalhos para: **The 7th International Conference on Boiling Heat Transfer - BOILING 2009**. Esta sétima edição desta conferência terá lugar em Florianópolis, Santa Catarina, de 3 a 7 de Maio de 2009.

Para mais informações: www.boiling2009.com.br. Prof. Júlio César Passos, Federal University of Santa Catarina, Brazil - ICBHT – BOILING 2009 Chair. Co-Chairs: Prof. Gian P. Celata, ENEA, Italy; Prof. James F. Klausner, University of Florida, USA; Prof. John R. Thome, EPFL, Switzerland; Prof. Masanori Monde, Saga University, Japan; Prof. Paolo Di Marco, University of Pisa, Italy.

Agenda de Eventos ABCM

COBEM 2007

5 a 09 de novembro de 2007 - Brasília, DF
Informações: www.cobem2007.com.br

ENCIT 2008

10 a 13 de novembro de 2008 - Belo Horizonte, MG
Informações: encit2008@demec.ufmg.br

CONEM 2008

18 a 22 de agosto de 2008 - Salvador, BA
Informações: conem2008@abcm.org.br
www.abcm.org.br/conem2008

COBEM 2009

15 a 20 de novembro de 2009 - Gramado, RS
Informações: svmoller@ufrgs.br

Reunião Conselho ABCM 2007

Foi realizada no Rio de Janeiro no dia 31 de agosto. Presidida pelo Presidente da ABCM, a reunião tratou dos seguintes assuntos:

1. Atividades da Diretoria

- Contratação de um software gerenciador de eventos ABCM (SWGE);
- Registro das marcas "ABCM" e "COBEM". Outras em andamento;
- Filiação da ABCM junto à SBPC (feita em junho de 2007);
- Edição de um Livro sobre "Engenharia de Dutos", Convênio assinado com a Transpetro em maio passado visando a elaboração, editoração, produção e distribuição de livro, em português, sobre Engenharia de Dutos;
- Contatos em andamento com a Petrobrás visando a edição de livros de autores nacionais;
- Relacionamento com entidades internacionais congêneres;
- Apoio permanente aos Comitês Técnicos;
- Apoio permanente às Secretarias Regionais - Recentemente foi realizado em Campinas, através de Regional sob a secretaria da Profa. Katia Lucchesi Cavalca, o mini-curso de Mecânica Veicular, ministrado pelo Prof. Dr. Georg Rill, atual Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de Ciências Aplicadas de Regensburg, Alemanha;
- Prêmios ABCM;
- O número de candidaturas em 2007 sofreu uma retração relativamente a 2006, mas apresenta-se em patamares equivalentes a 2003 e 2004 e, ainda assim, melhores do que 2005.

	2003	2004	2005	2006	2007
Proj. de Formatura	16	6	16	14	12
Dissert. Mestrado	16	17	19	29	21
Tese Doutorado	14	14	9	22	16
Total	46	37	44	65	49

- Diploma ABCM aos concludentes de engenharia mecânica com melhor CR;
- Revistas: JBSMSE e ABCM Engenharia – Foi publicado recentemente o número 1, Volume XI (2006) da Revista ABCM Engenharia. O número 1 de 2008 está em preparação e deverá ser distribuído no COBEM;
- Criação do Comitê de Mecânica Computacional - A Diretoria recebeu e aprovou recentemente proposta de criação do Comitê de Mecânica Computacional, a ser secretariada pelo Prof. Paulo Lyra.

2. Prestação de Contas e Orçamento anual

Prof. Su Jian, Diretor Tesoureiro da ABCM.

3. Relatório dos Editores

JBSMSE – Prof. Paulo Miyagi (Editor)
ABCM Engenharia – Prof. José Roberto F. Arruda (Editor)
RETERM – Prof. José Viriato Vargas (Editor)

4. Prestação de Contas e Relatório

(dos últimos eventos regulares promovidos pela ABCM)

- ENCIT 2006 – Prof. Luis Mauro Moura
- EPTT 2006 – Prof. Átila Silva Freire
- CREEM 2006 – Prof. Francisco P. Carvalho
- CONEM 2006 – Prof. José Maria Barbosa
- DINAME 2007 – Prof. Paulo Varoto
- COBEF 2007 – Prof. Gilmar Batalha
- ENEBI 2007 – Prof. Luciano Menegaldo
- CREEM 2007 – Prof. Enio Bandarra

5. Relato de Eventos em Preparação

- COBEM 2007 – Prof. Alessandro B. de Sousa Oliveira
- CONEM 2008 – Prof. Ednildo Trindade
- CREEM 2008 – (a ser definido)
- EPTT 2008 – Prof. Marcello Faraco de Medeiros
- ENCIT 2008 – Prof. Marcos Pinotti Barbosa

6. Relatório dos Comitês Técnicos

- Comitê de graduação e pós-graduação - Prof. Carlos Alberto de Almeida
- Comitê de Bioengenharia - Prof. Luciano Menegaldo
- Comitê de Dinâmica - Prof. Hans I. Weber
- Comitê de Mecatrônica - Prof. Paulo Miyagi

7. Rel. de Ativ. e Progr. das Regionais

8. Eleições para a Diretoria e Conselho

9. Outros Assuntos

A reunião teve início às 9 horas e encerrou-se às 16h30min com um coquetel de lançamento do convênio para a elaboração de livro sobre "Engenharia de Dutos".



Ricardo Nicolau Nassar Koury - UFMG
koury@demec.ufmg.br
Silvio de Oliveira Jr. - USP
silvio.oliveira@poli.usp.br
Wladimir M. C. Dourado - CTA/IAE
wladimyrmd@terra.com.br

Comitê de Combustão e Engenharia Ambiental

Comitê Executivo Atual/Mandato:

João A. C. Júnior - FEG UNESP - (Secr.) joao@feg.unesp.br
Pedro Teixeira Lacava - ITA placava@ita.br
Guenther Carlos Krieger - EPUSP guenther@usp.br
Carlos Alberto Gurgel Veras - UnB gurgel@unb.br
Waldir Bizzo - FEM UNICAMP bizzo@unicamp.br
Luis F. Figueira da Silva luisfer@mec.puc-rio.br

Comitê de Dinâmica

Comitê Executivo Atual/Mandato:

Agenor de Toledo Fleury - IPT
Carlos Alberto de Almeida - PUC-Rio
Hans Ingo Weber - PUC-Rio (Secr.) hans@mec.puc-rio.br
José João de Espíndola - UFSC
Moyses Zindeluk - UFRJ
Paulo Roberto G. Kurka - UNICAMP
Valder Steffen Jr - UFU
Domingos Alves Rade - UFU
Paulo Sérgio Varoto - EESC - USP varoto@sc.usp.br

Comitê de Engenharia Aeroespacial

Comitê Executivo Atual/ Mandato: (2006-2007)

Antonio F. B. de Almeida Prado prado@dem.inpe.br
Carlos Alberto Cimini Junior cimini@ufmg.br
Eduardo Morgado Belo belo@sc.usp.br
Marcello Augusto F. de Medeiros marcello@sc.usp.br
Paulo Tadeu de Mello Lourenção
paulo.lourencao@embraer.com.br
Roberto Francisco Bobenrieth Miserda rfbm@unb.br
Sérgio Frascino Muller de Almeida (Secr.) frascino@ita.br
Wilson Fernando N. dos Santos wilson@lcp.inpe.br

Comitê de Engenharia de Fabricação

Comitê Executivo Atual/Mandato: 2005/2007

Prof. José Divo Bressan - Secretário Executivo (UDESC Joinville) dem2jdb@joinville.udesc.br
Prof. Lourival Boehs - (UFSC) lb@grucon.ufsc.br
Prof. Marcelo T. Santos - (SOCIESC) teixeira@sociesc.com.br
Prof. Valtair A. Ferraresi - (UFU) valtairf@mecanica.ufu.br
Prof. Eduardo Carlos Bianchi - (UNESP) bianchi@feb.unesp.br
Prof. Miguel Ângelo Menezes - (UNESP)
miguel@dem.feis.unesp.br

Comitê de Engenharia de Offshore e Petróleo

Comitê Executivo Atual/Mandato:

Antônio Carlos Fernandes - COPPE/UFRJ
acfernandes@peno.coppe.ufrj.br
Celso H. Morooka - UNICAMP - (Contato)
morooka@dep.fem.unicamp.br
Celso Pupo Pesce - EPUSP - (Contato)
ceppesce@usp.br
Luis Fernando A. Azevedo - PUC Rio lfaa@mec.puc-rio.br
Murilo Augusto Vaz - COPPE/UFRJ
murilo@peno.coppe.ufrj.br
Renato Marques da Silva - PETROBRÁS
rsilva@petrobras.com.br
Sérgio Nascimento Bordalo - UNICAMP
bordalo@dep.fem.unicamp.br

Comitê de Engenharia do Produto

Comitê Executivo Atual/Mandato:

Fernando Antonio Forcellini (Secr.) - UFSC
forcellini@emc.ufsc.br
Paulo Carlos Kaminski - EPUSP
Henrique Rozenfeld - EESCUSP
Franco Giuseppe Dedini - UNICAMP

Paulo T. M. Lourenção - EMBRAER
paulo.lourencao@embraer.com.br
Luis Gonzaga Trabasso - ITA gonzaga@ita.br

Comitê de Fenômenos Não-Lineares

Comitê Executivo Atual: 2006

José Manoel Balthazar (President) - UNESP, Rio Claro, SP
jmbaltha@rc.unesp.br
Paulo Batista Gonçalves - PUC - RJ paulo@civ.puc-rio.br
Reyolando R. M. L. R. F. Brasil - Escola Politécnica, USP, SP
rmlrdbf@usp.br
Marcelo Savi - UFRJ - RJ savi@mecanica.coppe.ufrj.br
Elbert E N Macau - INPE - S. J. dos Campos elbert@lit.inpe.br
Bento Rodrigues Pontes - UNESP - Bauru, SP
brpontes@feb.unesp.br
Luiz Carlos Sandroval Góes - ITA - S. J. dos Campos, SP
goes@mec.ita.cta.br
Antonio F Bertachini A Prado - INPE-S. J. dos Campos, SP
prado@dem.inpe.br
Aura Conci - UFF, Niteroi, RJ aconci@ic.uff.br
Flávio Donizeti Marques - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, SP fmarques@sc.usp.br

Comitê de Mecânica dos Fluidos

Comitê Executivo Atual/Mandato: (2007-2009)

Leandro Franco de Souza (Secretário) lefraso@icmc.usp.br
Sergio Viçosa Möller svmoller@ufrgs.br
Daniel Onofre de Almeida Cruz doac@ufpa.br
Átila Silva Freire atila@serv.com.ufrj.br

Comitê de Mecânica da Fratura, Fadiga e Integridade Estrutural

Membros do Comitê Executivo:

Claudio Ruggieri - EPUSP - Escola Polit. USP
claudio.ruggieri@poli.usp.br
Eduardo Hippert Jr. - CENPES/Petrobrás
hippert@petrobras.com.br
José Alexandre Araújo - UNB - Universidade de Brasília, DF
alex07@unb.br
Miguel Mattar - IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares mmattar@net.ipen.br
Sérgio Henrique da Silva Carneiro - ITA - Instituto Tecnológico da Aeronáutica carneiro@iae.cta.br
Waldek Wladimir Bose Filho EESC - Escola de Engenharia de São Carlos waldek@sc.usp.br

Comitê de Mecânica dos Sólidos

Comitê Executivo Atual/Mandato:

Heraldo da Costa Mattos - UFF heraldo@mec.uff.br
Edgar Nobuo Mamiya - UnB mamiya@unb.br
Marcílio Alves - EPUSP maralves@usp.br

Comitê de Mecatrônica

Comitê Executivo Atual/Mandato:

Paulo Eigi Miyagi - EPUSP - (Contato) pemiyagi@usp.br

Comitê de Refrigeração, Ar Condicionado, Aquecimento e Ventilação

Comitê Executivo Atual/ Mandato: (2001-2005)

Carlos A. Cabral dos Santos - UFPb
Cláudio Melo - UFSC
José A. dos Reis Parise - PUC-Rio
José Maria Saiz-Jabardo - EESCUSP
José R. Simões Moreira - EPUSP (Secr.) jrsimoes@usp.br
Nísio de C. L. Brum - UFRJ
Ricardo N. N. Koury - UFMG

Comitê de Reologia e Mecânica dos Fluidos Não-Newtonianos

Comitê Executivo Atual:

Geraldo Spinelli Ribeiro - CENPES
José Alberto Cuminato - EESCUSP
José Karam Filho - LNCC (Secr.) jkfi@lncc.br
Mônica Feijó Naccache - PUC-Rio
Rômulo Navarro - UFPb

