

CURRÍCULO

Personalizando o ensino de engenharia na graduação

ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO MENOR PARA ATENDER ÀS DEMANDAS EMERGENTES.
ENGENHARIA DE ENERGIA NUCLEAR – UM EXEMPLO

Michael L. Corradini, Presidente e Professor de Engenharia Física da Universidade de Wisconsin, Madison, ex-Reitor Associado de Engenharia, membro do Comitê Consultivo de Pesquisa em Energia Nuclear DOE (NERAC), Membro do Conselho da Academia Nacional de Treinamento Nuclear e Comitê Consultivo de Proteção de Reator.

James J. Duderstadt, Professor de Ciência e Engenharia da Universidade de Michigan, antes Reitor de Engenharia, Chefe e Presidente; Membro do Comitê Consultivo de Pesquisa em Energia Nuclear do Departamento de Energia dos Estados Unidos (1998-2002); Membro da Comissão Nacional de Ciência (1984-1996); Academia Nacional de Engenharia.

Com a renovação do interesse em energia nuclear como um importante componente do portfólio energético dos EUA, existe uma crescente preocupação com a disponibilidade de engenheiros formados em tecnologia nuclear, considerando a escassez de programas universitários e instalações de engenharia nuclear nas últimas décadas. Até mesmo com uma rápida infusão de novos recursos, o tempo exigido para reconstruir o corpo docente e as instalações e estimular o interesse dos estudantes torna pouco provável que os programas convencionais de engenharia nuclear possam oferecer um fluxo de formados adequado para atender às necessidades mais urgentes da indústria e do governo federal. Áreas similares emergentes de engenharia, como a nanoenge-

nharia, podem exigir abordagens inovadoras para preparar engenheiros.

Exploramos o desenvolvimento de um currículo básico em engenharia de energia de fissão nuclear que serve como exemplo para uma concentração menor, baseada em certificado, para estudantes de graduação cujas áreas de concentração maior são em programas tradicionais de engenharia, como mecânica, elétrica, química, civil e engenharia da computação. O programa proposto ampliaria os programas convencionais de graduação em engenharia com uma sequência de quatro disciplinas oferecidas no penúltimo e no último ano, acompanhada de uma prática de verão envolvendo abrangente experiência em laboratório numa instalação regional de reatores, num laboratório nacional ou instalação industrial. O currículo proposto de área de concentração menor em energia nuclear poderia ser apoiado por extensos recursos de computação e rede, incluindo pacotes de simulação, portais da web e aprendizado baseado em tecnologia para ensino no campus e à distância.

Por meio de pesquisas conduzidas pela Universidade de Wisconsin, ficou patente um forte interesse nesses programas por parte da indústria, governo e estudantes em potencial. Representantes da indústria expressaram interesse em contratar engenheiros nucleares mais amplamente preparados em áreas de concentração mais gerais da engenharia, enquanto muitos estudantes consideram essa concentração menor em energia nuclear uma alternativa mais atraente do que uma área de concentração maior especializada em engenharia. Como o programa proposto seria altamente trans-

portável, criando seu conteúdo a partir de importantes professores de programas de engenharia nuclear de todo o país e subsidiado, em parte, pela indústria e pelo governo federal, ampliaria consideravelmente o número de instituições capazes de oferecer instrução em engenharia de energia nuclear. O paradigma de concentrações menores certificadas/credenciadas serviria como um modelo útil na educação de engenharia para atender à necessidade de engenheiros capacitados em áreas altamente especializadas, como engenharia de sistemas de energia, manufatura integrada, nanotecnologia, engenharia geológica e engenharia biomédica. Uma concentração menor de graduação anexada a um currículo mais tradicional permitiria que os alunos se preparassem para carreiras nesses campos, sem sacrificar a experiência educacional mais ampla e as oportunidades de emprego oferecidas por um programa de graduação mais convencional. Além disso, ao desenvolver um currículo e recursos de apoio para uma concentração menor usando uma equipe de líderes nacionais em tal especialidade, as faculdades e universidades poderiam oferecer esses currículos especializados sem investimentos adicionais significativos em corpo docente e instalações. Na verdade, o modelo que exploramos com um currículo geral de graduação poderia representar o futuro, à medida que o conhecimento em engenharia continua a desenvolver especialidades e as universidades enfrentam crescentes limitações de recursos.

A NECESSIDADE - ÁREAS EMERGENTES DA ENGENHARIA: A ENERGIA NUCLEAR COMO EXEMPLO

Tem havido grande ansiedade quanto ao futuro da capacidade dos Estados Unidos em termos de tecnologia nuclear mesmo com o interesse renovado em energia nuclear estimulado por preocupações envolvendo o impacto de combustíveis

fósseis nas mudanças climáticas globais, o crescente desequilíbrio entre a oferta de energia e a demanda, regionalmente nos Estados Unidos, em países desenvolvidos e no mundo em desenvolvimento, e outras questões relacionadas à tecnologia nuclear, incluindo a proliferação de tecnologia de armas e materiais nucleares e a disposição de lixo radioativo. Como observou o presidente americano Barack Obama em seus comentários recentes, a energia nuclear precisa fazer parte de um futuro de energia limpa nos Estados Unidos.

Mas estamos diante de uma crise crescente na disponibilidade de cientistas e engenheiros formados em tecnologia nuclear. Diversos estudos conduzidos pelas indústrias, universidades e governo federal chegaram à conclusão de que a atual oferta de formados em engenharia nuclear não consegue alcançar as crescentes demandas da indústria nuclear. Na verdade, mesmo sem um maior crescimento no número de instalações de energia nuclear nos Estados Unidos, a chegada da aposentadoria de uma força de trabalho envelhecida, junto com um baixo número de matrículas em programas de engenharia nuclear na maioria das faculdades e universidades, gera preocupações quanto à proximidade de uma crise^[1]. Essa preocupação também tem sido expressada em outros países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Na última década, o número de programas de engenharia nuclear nos Estados Unidos caiu pela metade. O número de reatores universitários para pesquisa e treinamento foi reduzido em dois terços (de 76 a 26). Nesse período, as matrículas diminuíram, apesar de um crescimento recente. Como foi observado num recente estudo de planejamento do Comitê Consultivo de Pesquisa em Energia Nuclear do Departamento de Energia dos Estados Unidos: “Os programas de engenharia nuclear estão desaparecendo no país. Sem uma ação conjunta por parte do governo federal, a

[1] Alan E. Waltar, “Feeding the Nuclear Pipeline: Enabling a Global Nuclear Future”, IAEA Forum on Managing Nuclear Knowledge (Vienna: International Atomic Energy Agency, September 17, 2002)

maioria dos programas de engenharia nuclear existentes logo vai evaporar, ou será absorvida e diluída em outras disciplinas da engenharia.”^[2]

Por outro lado, a demanda por pessoas formadas na área está novamente aumentando. Os requerimentos para profissionais que operam em instalações americanas de energia nuclear estão subindo, e certamente permanecerão altos, considerando os planos para extensão da vida das instalações na grande maioria de reatores de água leve nos Estados Unidos. Um estudo conduzido pelo Instituto de Energia Nuclear concluiu que aproximadamente 90 mil novos profissionais da área seriam necessários na próxima década no país. Mais especificamente, o estudo identificou a necessidade neste período de aproximadamente 2.400 novos engenheiros nucleares e 1.300 especialistas em efeitos biológicos da radiação e segurança. Além disso, existe um crescimento contínuo da energia nuclear nas regiões do Pacífico, América do Sul e Mediterrâneo, e contínuos avanços na elaboração de uma futura geração de reatores de fissão nuclear (particularmente conceitos de reator de quarta geração^[4]). Ademais, novas iniciativas aparecem em ciências de radiação aplicadas em colaboração com pesquisas industriais e médicas. Finalmente, ciência nuclear e a engenharia (CN&E) continuam sendo necessárias na defesa nacional e incluem tecnologia relacionada à redução de armas e controle e cumprimento de tratados internacionais. Assim, o futuro dos programas universitários de engenharia nuclear devem ser reavaliados e adquirir um novo foco neste início de novo século.

Porém, mesmo que haja reinvestimentos substanciais em pesquisa e desenvolvimento de energia nuclear e programas acadêmicos de engenharia nuclear, é pouco provável que no curto

prazo os EUA possam preencher a crescente lacuna entre as crescentes necessidades da indústria e do governo por engenheiros e cientistas formados em tecnologia de fissão nuclear e a capacidade dos programas de energia nuclear da nossa universidade. Será preciso uma década ou mais para produzir a próxima geração de corpo docente capaz de lidar com um número maior de matrículas. Além disso, apesar do forte mercado para formados em engenharia nuclear, os estudantes ainda estão relutantes em entrar nessa área por causa das incertezas de seu futuro. Como medida temporária, a indústria de energia nuclear dos Estados Unidos e de vários outros países está tentando formar profissionais de engenharia de outros campos in loco, mas isso tem se mostrado muito custoso e não tão eficaz quanto um programa educacional universitário integrado.

A ABORDAGEM (ENSINO PERSONALIZADO DE ENGENHARIA - ÁREAS DE CONCENTRAÇÃO MENOR EM ENGENHARIA)

Reconhecendo os limites de recursos de programas de graduação convencionais em engenharia nuclear, exploramos o potencial de uma alternativa que acreditamos ser capaz de restaurar rapidamente o fluxo de engenheiros e cientistas instruídos em tecnologia de energia de fissão nuclear: um programa de certificado em engenharia de energia de fissão nuclear, desenvolvido por um consórcio nacional de universidades, que pode ser adicionado como uma “área de concentração menor” de um programa acadêmico a qualquer programa convencional de graduação em engenharia (por exemplo: mecânica, elétrica, química, civil, engenharia da computação e industrial), assim como áreas de concentração maior em ci-

^[2] Michael L. Corradini, Chair, “The Future of University Nuclear Engineering Programs and University Research and Training Reactors”, Nuclear Energy Research Advisory Committee Report, U. S. Department of Energy, 2000.

^[3] Gary S. Was and William R. Martin, Ed., Manpower Supply and Demand in the Nuclear Industry (Ann Arbor, Michigan: Nuclear Engineering Department Heads Organization, 1998).

^[4] Neil Todreas, Chair, “A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems”, Nuclear Energy Research Advisory Committee Report, U. S. Department of Energy, 2002

Apesar do forte mercado para formados em engenharia nuclear, os estudantes ainda estão relutantes em entrar nessa área por causa das incertezas quanto a seu futuro

ências selecionadas (exemplo: física e química). Esse currículo, composto de várias disciplinas, incluiria uma prática de verão envolvendo uma extensa experiência em laboratório (talvez na instalação de reatores de uma universidade regional ou um laboratório nacional), entre o penúltimo e o último ano da graduação. O currículo de energia nuclear proposto teria o apoio de extensos recursos de computação e rede, incluindo pacotes de simulação, portais da web e aulas com base em tecnologia no campus e à distância. Exploramos a possibilidade de formar uma equipe de membros do corpo docente tirados de diversos programas de energia nuclear pioneiros no país, a fim de desenvolver uma sequência curricular em tecnologia de fissão nuclear. Também iniciamos diálogo com a indústria de energia nuclear, buscando sua participação tanto no desenvolvimento quanto na certificação desse currículo.

Acreditamos que esse programa tem o potencial de expandir rapidamente a produção de engenheiros e cientistas capazes de contribuir para os programas de energia nuclear. Na verdade, a indústria há muito tempo expressa interesse em contratar engenheiros nucleares treinados de forma mais ampla em graduações mais gerais de engenharia, como engenharia mecânica, elétrica e da computação. Além disso, essa abordagem é particularmente interessante para as universidades, já que permitiria responder a uma crescente necessidade nacional na área de energia nuclear sem a necessidade de grande expansão de estruturas existentes de engenharia nuclear (o que de qualquer forma seria pouco provável por causa do ambiente orçamentário). O programa seria projetado para ser altamente adaptável. Como o conteúdo

e o suporte do programa proposto seriam fornecidos por uma equipe de professores dos principais programas de engenharia nuclear de todo o país, as instituições não teriam de comprometer recursos adicionais para gerar novas estruturas.

Um benefício colateral do programa é que levaria a um aumento nas matrículas em ciência nuclear e engenharia. Embora os requisitos de admissão variem entre as instituições, os alunos que completaram com sucesso o programa de certificado proposto teriam os pré-requisitos e possivelmente o interesse em continuar em programas de engenharia nuclear no nível de pós-graduação, com pouca desvantagem em comparação aos formados com bacharelado em engenharia nuclear.

Finalmente, esse programa pode ser muito mais atrativo para os estudantes por causa de sua flexibilidade. Os programas tradicionais de graduação em engenharia (ou ciência) lhes dariam um amplo espectro de oportunidades de carreira, enquanto a área de concentração em energia nucle-

PENÚLTIMO ANO:	Física atômica e nuclear Física de reator nuclear
VERÃO:	Estágio na indústria nuclear ou laboratório nacional (Alternativa: Laboratório em medições e instrumentação nuclear)
ÚLTIMO ANO:	Sistemas de energia nuclear (incluindo instalações de produção de energia e ciclo do combustível) Ciência radiológica (incluindo dosimetria e blindagem)[5]

ar os qualificaria para entrar no mercado de tecnologia nuclear, se eles assim escolherem. Como o currículo de energia nuclear seria projetado para ser compatível com eletivas técnicas e gerais disponíveis na maioria dos programas de engenharia e ciência, os alunos poderiam acrescentar essa opção à sua área de concentração maior sem sacrifício para o prazo de conclusão do curso. Essa abordagem é uma boa forma de personalizar a educação de graduação dos alunos.

O modelo básico de currículo é simples: um programa de 15 créditos, com 4 disciplinas de 3 créditos cursadas em cada semestre do penúltimo e do último ano, além de um estágio de verão e/ou experiência em laboratório (que valem mais 3 créditos).

Axperiência de verão entre o penúltimo e o último ano é um componente especialmente importante desse currículo. Embora uma abordagem possa ser incluir as disciplinas de laboratório durante o período do verão, também devemos ter em mente que a maioria dos alunos deseja ganhar dinheiro enquanto adquirem experiência em engenharia por meio de trabalhos durante o verão. Sendo assim, acreditamos que é melhor considerar essa experiência de verão como um estágio vinculado e estruturado ou prática em energia nuclear junto a uma empresa de energia nuclear ou laboratório nacional, uma opinião apoiada por grupos de focalização compostos por estudantes (isso parece compatível com as práticas atuais, já que muitas empresas buscam usar esse “vínculo cooperativo” para avaliar e recrutar futuros funcionários, e a maioria dos laboratórios nacionais oferece vagas de verão para estudantes de engenharia).

O processo de avaliação de mercado abaixo

sugere que a área de concentração menor em engenharia de energia nuclear seria bastante compatível com áreas de concentração maior em engenharia, como mecânica, de materiais, elétrica e química. No entanto, também podemos imaginar a possibilidade de combinar isso com a engenharia aeroespacial (especialmente com o interesse recente da Nasa em sistemas espaciais de energia e propulsão nuclear como um requerimento para missões tripuladas além da Lua), civil (a fim de preparar engenheiros para trabalhar em empresas de engenharia da construção) e ambiental (questões de sustentabilidade).

AVALIAÇÃO DE MERCADO - AVALIAÇÃO PARA PERSONALIZAR O PROGRAMA

Trabalhando com o Centro de Pesquisas da Universidade de Wisconsin, preparamos uma série de pesquisas de mercado para avaliar: i) o interesse de possíveis empregadores, incluindo empresas de fornecimento de energia elétrica, fornecedores de equipamentos nucleares, laboratórios nacionais e outras agências federais; e ii) a atratividade de uma área de concentração menor como essa para os possíveis estudantes.

A OPINIÃO DOS EMPREGADORES

A avaliação da opinião da indústria envolveu 15 entrevistas estruturadas com executivos seniores de empresas ou laboratórios nacionais que recrutam engenheiros nucleares. A maioria dessas organizações comentou a disponibilidade cada vez menor de engenheiros nucleares. Na verdade, duas delas observaram que, por causa dessa escassez, tinham parado de tentar recrutar engenheiros nucleares e agora miram em outras disciplinas da engenharia cujos profissionais podem ser treinados internamente para desempenhar funções relacionadas à energia nuclear. Um executivo reforçou essa opinião ao dizer: “A disponibilidade de engenheiros nucleares está hoje

[5] Os programas convencionais de engenharia nuclear consistem em 30 créditos:

Física atômica e nuclear (3)

Física de reator (3)

Efeitos da radiação e instrumentação (3)

Dois cursos de laboratório em medições de radiação e reatores (3+3)

Sistemas de energia nuclear (3)

Elaboração de sistema nuclear (3)

Eletivas nucleares (exemplo: blindagem, ciclos do combustível, segurança) (3)

Eletivas técnicas (6)

Na última década, o número de programas de engenharia nuclear nos Estados Unidos caiu pela metade. O número de reatores universitários para pesquisa e treinamento foi reduzido de 76 para 26

limitada e vem diminuindo. Como é muito mais fácil encontrar engenheiros mecânicos e elétricos, agora estamos focando nessas disciplinas.”

Houve uma resposta bastante positiva à área de concentração menor proposta. A maioria dos entrevistados afirmou que certamente consideraria contratar uma pessoa formada em engenharia com área de concentração menor em engenharia nuclear. Algumas respostas:

- ▶ **“Certamente contrataríamos esses formados”**
- ▶ **“Favoreceríamos a combinação de uma área de concentração maior em engenharia com uma área de concentração menor em engenharia nuclear para vários cargos, como os que envolvem segurança de reatores nucleares”**
- ▶ **“Um engenheiro mecânico ou elétrico com habilitação em energia nuclear se enquadraria bem em funções gerenciais”**
- ▶ **“Teríamos interesse especial em engenheiros mecânicos ou de materiais com habilitação em engenharia nuclear”**

Aqui devemos notar que, embora os empregadores demonstrassem entusiasmo quanto aos engenheiros com habilitação em engenharia nuclear, não se mostraram tão entusiasmados com graduações em física com essa mesma habilitação. Eles foram negativos quanto a cursos de matemática com essa concentração. Acreditam que uma graduação em engenharia é preferível.

Uma citação de um executivo sênior de uma das maiores instalações nucleares resumiu essas opiniões: “As necessidades da indústria hoje são, em grande parte, por engenheiros não nucleares

com algum background em energia nuclear. O ideal seria algum mecanismo pelo qual candidatos da área de engenharia não nuclear no caminho para obtenção de seus diplomas pudessem cursar algumas disciplinas de energia nuclear e ter alguma familiaridade com a área. Isso melhoraria as perspectivas de emprego do aluno.”

A maioria dos empregadores esteve confortável com os temas propostos para a área de concentração menor: física e laboratório de reator nuclear; detecção, medição e blindagem de radiação; sistemas nucleares; e questões econômicas e ambientais da energia nuclear. Todos se mostraram bastante entusiasmados com a possibilidade de um estágio ou experiência prática, e vários deles sugeriram que suas empresas estariam dispostas a participar de programas de cooperação nessa área.

Praticamente todos os entrevistados declararam que essa área de concentração menor seria benéfica, embora reconheçam que isso não substituiria ou reduziria a ênfase na engenharia nuclear como área de concentração maior.

A OPINIÃO DOS ESTUDANTES

Quatro grupos de focalização (reunidos para auxiliar na análise de um produto) foram formados para compreender melhor os fatores que motivam a escolha dos estudantes por uma área de concentração maior e como eles responderiam à criação de uma área de concentração menor em engenharia de energia de fissão nuclear. Um dos fatores prioritários dos alunos na escolha de uma área de concentração maior é a percepção do mercado de trabalho, além da flexibilidade dessa habilitação (se permite que eles busquem interes-

ses diversos) e a utilidade da área de concentração maior em mais de um campo. Vários alunos mencionaram que tinham selecionado uma área de concentração maior (exemplo: engenharia mecânica ou elétrica) por causa de sua amplitude e flexibilidade.

A maior parte desses alunos dos grupos de focalização tinha imagem negativa da engenharia nuclear como área de concentração maior ou como carreira. A impressão era que a engenharia nuclear era um campo em declínio, com baixa demanda por engenheiros nucleares e poucas oportunidades de carreira (eles se surpreenderam ao saber da atual demanda do mercado, mas temem que ela fosse temporária). Também consideraram uma área de concentração maior em engenharia nuclear como um curso especialmente exigente, consistindo em disciplinas altamente técnicas e difíceis.

A maioria dos estudantes reagiu de forma bastante positiva quanto à possibilidade de uma área de concentração menor em energia nuclear – desde que não prolongasse muito a conclusão de seu curso de graduação. Algumas características que atraíram os alunos: melhor possibilidade de empregabilidade com um programa de certificado, obter o certificado sem passar muito mais tempo na faculdade, potencial de aumento de salário e mais opções de carreira a serem exploradas. Alguns comentários registrados:

- ▶ **“Abriria mais uma porta. Permitiria ter nosso diploma em engenharia mecânica ou química. Teríamos uma rede de segurança se a concentração menor em engenharia nuclear não funcionasse”**
- ▶ **“Isso nos traz mais possibilidades de emprego. É algo que gera uma vantagem sobre as outras pessoas que se candidatam a um emprego”**
- ▶ **“Se é algo que podemos fazer em poucos semestres, seria muito mais atraente do que apenas a graduação em engenharia nuclear”**

Os estudantes ficaram particularmente interessados na possibilidade de um estágio de verão, embora tenham demonstrado muito menos entusiasmo quanto a passar o verão em cursos de laboratório (que não apenas seriam academicamente exigentes, mas provavelmente obrigariam que abrissem mão da renda do emprego de verão, tão necessária). Em geral, os estudantes do penúltimo e do último ano do grupo de focalização acharam que seus programas eram flexíveis o suficiente para incorporar planos para a área de concentração menor depois do início do segundo ano.

Quase todos os participantes dos grupos de focalização disseram que estariam interessados em obter mais informação sobre a área de concentração menor proposta, se estivesse disponível.

MERCADOS INSTITUCIONAIS

Podemos identificar três possíveis mercados para esses programas:

- 1. Oferecer área de concentração menor dentro de escolas de engenharia/ciência que já têm um programa de engenharia nuclear que oferece bacharelado (isso pode ser interpretado como dupla habilitação para essas instituições)**
- 2. Oferecer área de concentração menor para universidades com fortes programas de engenharia que não oferecem bacharelado em engenharia (isso pode apenas requerer um acordo de articulação para aceitação de créditos de outra instituição que oferece as áreas de concentração menor – uma estrutura que já existe para algumas instituições, como o Committee for Institution Cooperation [CIC] para as universidades do Big Ten, por exemplo).**
- 3. Oferecer área de concentração menor a faculdades e universidades com programas modestos em ciência e engenharia**

O esforço para incluir o novo conhecimento técnico em muitas áreas, ao mesmo tempo retendo grande parte do antigo conhecimento, excluiu outros conteúdos importantes do currículo

(universidades regionais, instituições predominantemente de minorias, faculdades de artes liberais)

É claro que haveria diferenças consideráveis em como essa área de concentração menor seria elaborada, realizada e financiada para cada um desses segmentos de mercado.

CERTIFICAÇÃO

Embora tenhamos considerado o uso de órgãos-padrão de credenciamento, como ABET ou EIS, para certificar a área de concentração menor, acreditamos que isso pode ser inconveniente. Tal processo formal de credenciamento é mais adequado para programas de bacharelado em engenharia, não para uma área de concentração menor. Em vez disso, ficamos convencidos de que o processo seria mais valioso para os estudantes e para a indústria se fosse um processo de certificação baseado na indústria. Após consultar líderes do mercado e do governo, recomendamos a formação de um painel consultivo do mercado empregador (indústria, governo) para monitorar o programa, oferecer uma perspectiva da indústria e, no final, fornecer certificação.

OS ELEMENTOS DA ELABORAÇÃO DO CURRÍCULO

Existem alguns aspectos peculiares no ensino da engenharia nuclear que devem ser considerados para o desenvolvimento desse currículo. Historicamente, a engenharia nuclear é quase única entre as disciplinas da engenharia em sua natureza múltipla, que vai de física nuclear microscópica

e atômica a engenharia de sistemas macroscópicos. Difere conceitualmente de muitas disciplinas da engenharia em sua abordagem estatística da descrição de processos físicos fundamentais, como difusão de nêutron e reações de fissura em cadeia; por exemplo, os engenheiros mecânicos veem os objetos como sólidos, os engenheiros nucleares veem toda a matéria como “porosa”, pelo menos para radiação ionizante.

Finalmente, e talvez mais importante, simulações de computador em grande escala desempenham um papel fundamental na engenharia nuclear. De fato, os primeiros computadores (ENIAC) foram desenvolvidos para analisar sistemas nucleares, e a engenharia nuclear continua sendo uma das disciplinas que mais demandam sistemas computacionais. É essencial que o currículo não apenas desenvolva a capacidade dos estudantes de utilizar programas de computador de grande escala, ou “códigos”, na análise e na elaboração de sistemas nucleares, mas também os exponha ainda mais aos aspectos gerais da prática atual da área.

Por isso, para ter sucesso na elaboração, desenvolvimento, divulgação e apoio de tal currículo nacional, é preciso contar com o suporte de diversos patrocinadores, tanto do governo federal quanto da indústria, para uma série de atividades:

- ▶ **Elaborar, desenvolver, implementar e avaliar o currículo de energia nuclear**
- ▶ **Desenvolver os recursos de apoio, incluindo simuladores, suporte web e tecnologia de ensino à distância**
- ▶ **Negociação de locais (universidades,**

laboratórios nacionais, indústria nuclear e possivelmente locais no exterior) para programas de laboratório/prática durante o verão

- **Buscar a participação da indústria no desenvolvimento e na certificação do currículo para o programa (já temos alguma experiência em trabalhar com a indústria para desenvolver currículo e experiências de verão em locais da indústria em áreas específicas como segurança de reator nuclear).**

Felizmente, a infraestrutura para tal ensino baseado em rede está evoluindo rapidamente por meio de esforços como o programa OpenSourceWare do MIT, arquivos de software de grande escala em universidades, como o DSpace, e esforços de ensino de padrões de software, como Open Knowledge Initiative ou o eTeach software^[6], que está sendo usado especificamente no desenvolvimento do curso de Engenharia Nuclear. O desenvolvimento do programa de certificado em energia nuclear deve tirar proveito desses recursos.

MODELOS DE FINANCIAMENTO

Assim como em qualquer novo esforço de criação de currículo, mecanismos sustentáveis de financiamento são essenciais. Embora seja visível que, no longo prazo, expandir a oferta de engenheiros preparados para a indústria de energia nuclear via incremento das graduações convencionais em engenharia com uma área de concentração menor em engenharia de energia de fissão nuclear será menos custoso do que acrescentar corpo docente, laboratórios e outros recursos para expandir dramaticamente os programas existentes de engenharia nuclear, o programa de certificado proposto exigirá novos recursos, pelo menos na fase inicial. Por exemplo, os estudantes que

participam de estágios durante o verão requisitarão ajuda de moradia e compensações (se isso for alcançado através de programas de verão existentes na indústria e laboratórios nacionais os custos incrementais devem ser modestos). Além disso, o esforço de desenvolvimento do currículo exigirá algum investimento para o envolvimento do corpo docente e da equipe de apoio.

Acreditamos que os fundos necessários para lançar esse programa devam vir de uma combinação de apoio federal e da indústria, já que esse esforço foi elaborado para responder à demanda nacional nesses setores. Mais especificamente, acreditamos que o Departamento de Energia tem a responsabilidade de desenvolver e manter os recursos humanos necessários para o desenvolvimento e a implementação da energia nuclear neste país^[7], sendo a agência federal que logicamente deve fornecer apoio ao programa. A participação da indústria pode ocorrer por meio de uma variedade de mecanismos, incluindo o programa de estágio de verão, os comitês consultivos necessários para o desenvolvimento e a certificação do currículo, e o apoio financeiro direto aos programas acadêmicos participantes.

Como um princípio mais geral, sugerimos que, sempre que um esforço de desenvolvimento de currículo de engenharia for motivado principalmente pelas necessidades e prioridades do país (exemplo: sistemas de energia elétrica, engenharia de infraestrutura civil, defesa nacional ou energia nuclear), uma combinação de apoio do governo federal e da indústria específica deva desempenhar um importante papel no financiamento do programa – particularmente os componentes peculiares como as práticas de verão. Por outro lado, se a área disciplinar for motivada pela empolgação com uma área da ciência ou da tecnologia que

[6] Julie Foertsch, Gregory Moses, John Strikwerda, and Mike Litzkow, "Reversing the Lecture/Homework Paradigm Using eTEACH Web-based Streaming Video Software", J. Engr. Ed. 91, July 2002, p. 267.

[7] John Ahearne, Chair, "A Long-Term Nuclear Technology Research and Development Plan", Nuclear Energy Research Advisory Committee Report, U. S. Department of Energy, 2000.

A chegada da aposentadoria de uma força de trabalho envelhecida, combinada com um baixo número de matrículas em programas de engenharia nuclear, gera preocupações quanto à proximidade de uma crise

está emergindo rapidamente (como a nanotecnologia), então o programa deve ser financiado ou por taxas pagas pelos alunos ou por realocação institucional (já que os créditos associados à área de concentração menor surgirão muito provavelmente à custa de outras eletivas no currículo de engenharia).

MAIORES IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE ENGENHARIA

Hoje, a prática da engenharia está evoluindo rapidamente em resposta a um mundo de rápidas mudanças. O deslocamento das prioridades, de defesa para competitividade econômica, o impacto da tecnologia da informação em constante evolução, o uso de novos materiais e processos biológicos – tudo isso vem impactando profundamente a prática da engenharia. Em outras palavras, a mudança da nossa sociedade de armas para bens civis, de transporte para comunicação, significa que os estudantes de engenharia de hoje passarão grande parte de suas carreiras lidando com desafios e oportunidades muito diferentes dos encarados pela maioria dos engenheiros de hoje – ou pelo corpo docente da área. Embora se espere que os engenheiros tenham base em ciência e matemática, espera-se cada vez mais que eles adquiram habilidades em comunicação, trabalho em equipe, adaptação à mudança e consciência social e ambiental. Também fica claro, a partir dessa perspectiva, que o ensino de engenharia simplesmente não tem mantido o mesmo ritmo desse ambiente de mudanças. Não é exagero dizer que nossos estudantes estão atualmente

sendo preparados para praticar engenharia num mundo que existia quando nós, seus professores, fomos educados, há uma ou duas gerações. Eles não estão necessariamente sendo preparados para o século 21.

Não há dúvidas de que parte desse desafio deve-se à organização intelectual da universidade contemporânea, na qual programas acadêmicos são divididos em disciplinas cada vez mais especializadas e fragmentadas. Talvez refletindo o impressionante sucesso da ciência do século 20, a maioria das disciplinas é reducionista em natureza, focando o ensino e os estudos em temas cada vez mais especializados. Embora isso produza formados com grande profundidade técnica, isso ocorre a certo sacrifício de uma educação mais ampla e integrada. Isso é especialmente verdade em disciplinas baseadas em ciência como a engenharia. O velho ditado não é tão absurdo: “Um formado em Harvard sabe nada sobre tudo. Um formado no MIT sabe tudo sobre nada!”

Devemos questionar o valor da especialização restrita numa época em que a prática da engenharia e os sistemas de engenharia estão se tornando maiores e mais complexos, envolvendo componentes e processos de campos diversos. Ironicamente, a essência da prática de engenharia é o processo de integrar conhecimento para algum fim. Ao contrário da análise especializada que caracteriza a investigação científica, espera-se que os engenheiros sejam os grandes integradores da sociedade, trabalhando em muitas áreas e disciplinas diferentes, fazendo conexões que

levarão a insights mais profundos e soluções mais criativas, fazendo as coisas acontecerem. Assim, o ensino de engenharia está sob crescente pressão para mudar, passando de uma especialização para um currículo mais abrangente e experiência educacional mais ampla, na qual os tópicos são conectados e integrados.

Como a base de conhecimento da maioria dos campos de engenharia continua a aumentar numa velocidade ainda mais rápida, o currículo de engenharia ficou inflado com matérias técnicas, grande parte das quais já está obsoleta. A maioria dos programas de graduação em engenharia já chega a quase cinco anos para a maioria dos estudantes. Mesmo com esse crescente conteúdo técnico, muitos engenheiros passam meses, quando não anos, em treinamento adicional no ambiente de trabalho antes de estarem prontos para a prática. Além disso, o esforço para incluir o novo conhecimento técnico em muitas áreas, ao mesmo tempo restando grande parte do antigo conhecimento, excluiu outros conteúdos importantes do currículo.

Junte-se a isso a fragmentação do currículo atual, que consiste em disciplinas altamente especializadas e geralmente desconectadas ou descoordenadas, cuja relação umas com as outras e com o ensino de engenharia raramente é explicada. Embora todos concordem que o currículo de graduação deva focar no fundamental, poucos concordam sobre que conteúdo é verdadeiramente fundamental.

Pode ser hora de começar do zero, eliminando todas as graduações especializadas de engenharia. Nas universidades pesquisadas (Michigan e Wisconsin^[8]), outro modelo está evoluindo para dar uma base de ciência com áreas focais especializadas; por exemplo, uma graduação geral em engenharia física. Isso permite que os estudantes obtenham um conjunto mais amplo de habilidades fundamentais, ao mesmo tempo em que per-

sonalizam seu penúltimo e seu último ano. Isso permite um caráter altamente integrador de tópicos da engenharia nos primeiros anos, com uma especialização em tópicos específicos nos últimos anos. Essa abordagem pode ser positiva para a educação dos engenheiros contemporâneos e para a prática da engenharia. Lembre-se de que, embora os alunos possam ser estereotipados por programas acadêmicos – e talvez até alguns recrutadores – como engenheiros elétricos, aeroespaciais etc., eles rapidamente perdem essa distinção nas carreiras de engenharia. O engenheiro de hoje deve abraçar vários campos, como tecnologia, sistemas e processos.

Muito embora o rigor da base científica e matemática da engenharia moderna seja importante, ela deve ser incrementada pela abordagem contextual mais ampla e integradora que caracteriza a prática da engenharia. Os estudantes devem obter experiência não apenas na análise solitária, mas também no trabalho em grupo e em projetos práticos de elaboração, implementação e operação. Devemos nos esforçar para integrar um verdadeiro entendimento de processo ao sistema educacional. Acima de tudo, devemos desafiar nossos alunos a pensar, criar e entender a excelência. Áreas de concentração menor com uma base fundamental de engenharia física podem ser um caminho no futuro.

O modelo de currículo proposto para a engenharia de energia de fissão nuclear poderia servir como um modelo útil de ensino de engenharia para lidar com essas questões educacionais gerais e a necessidade mais específica de engenheiros formados em outras áreas altamente especializadas, como manufatura integrada, nanotecnologia, engenharia quântica e biotecnologia. Uma área de concentração menor na graduação permitiria aos alunos se prepararem para carreiras nesses campos, sem sacrificar a experiência educacional mais ampla (e as oportunidades de mercado) oferecida por um programa de graduação mais

[8] Michael Corradini, Chair, "Engineering Physics Curriculum", University of Wisconsin, 2005 <http://www.engr.wisc.edu/ep/engrphys/>

Embora os alunos possam ser estereotipados como engenheiros elétricos, aeroespaciais etc., eles rapidamente perdem essa distinção nas carreiras de engenharia. O engenheiro de hoje deve abraçar vários campos

convencional. Além disso, ao desenvolver um currículo e materiais de apoio para uma área de concentração menor usando uma equipe de líderes nacionais em dada especialidade, faculdades e universidades poderiam oferecer esses currículos especializados sem investimentos adicionais significativos em novo corpo docente e instalações. Na verdade, o modelo que propomos pode representar o futuro do ensino da engenharia à medida que o conhecimento continua a se fragmentar em especialidades e as universidades enfrentam crescentes limitações de recursos para investir em corpo docente e instalações.

CONCLUSÕES

Está cada vez mais claro que o país enfrenta um sério desafio para formar os cientistas e engenheiros da próxima geração necessários para apoiar nossas necessidades de tecnologia nuclear. Até mesmo um reinvestimento em programas universitários de engenharia nuclear e pesquisas nacionais em ciência e tecnologia nuclear levaria uma década ou mais para criar os recursos necessários para responder às necessidades da indústria e do governo.

Acreditamos que nossa proposta de programa de certificado em engenharia de energia de fissão nuclear tem a capacidade de responder rapidamente e de forma eficaz a essas necessidades, pelo menos no curto prazo. Além disso, ofereceria aos estudantes de bacharelado em engenharia em disciplinas tradicionais um trei-

namento adicional necessário para trabalhar na área de tecnologia de fissão nuclear. Finalmente, ofereceria um modelo de como um consórcio de programas de engenharia poderia trabalhar junto para desenvolver e implementar um currículo numa área particular a fim de ampliar o público nacional usando tecnologia da informação.

É importante enfatizar que esse programa não tem intenção de substituir os currículos tradicionais de engenharia nuclear, que continuarão sendo necessários para atender não apenas às necessidades nacionais em energia de fissão nuclear, mas em várias outras áreas, como física radiológica, fusão nuclear e segurança nuclear. Ademais, nossa capacidade nacional em termos de tecnologia nuclear depende criticamente de programas viáveis de pós-graduação que levam a mestrados e doutorados em engenharia nuclear. Essa iniciativa dependerá do desenvolvimento ativo do corpo docente de departamentos existentes de engenharia nuclear para desenvolver, implementar e manter esse currículo de certificado no futuro. Por fim, o currículo proposto tem o objetivo de complementar programas existentes de graduação e pós-graduação, ao oferecer uma fonte única e rapidamente disponível de formados em engenharia para atender às crescentes necessidades da indústria e do governo em tecnologia de fissão nuclear, que se expandiram para além da capacidade dos programas existentes.