



COBENGE
2021

XLIX Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e IV Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia
da ABENGE

28 a 30 de SETEMBRO

Evento Online

"Formação em Engenharia:
Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade"

ESTUDO DA INTERFACE DA BIO-ENGENHARIA NA PESQUISA EM ENSINO DE ENGENHARIA NO BRASIL NA DÉCADA DE 2010 A 2020

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2021.3381

Leonardo Pereira Dias - leodiaspe@gmail.com

Força Aérea Brasileira

Praça Mal. Eduardo Gomes 50

12228-900 - São José dos Campos - SP

Priscila Correia Fernandes - prixcafernandes@gmail.com

Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA

Praça Marechal Eduardo Gomes 50

12228-900 - São José dos Campos - SP

Resumo: O presente trabalho possui o objetivo de analisar o espaço de convergência entre Biologia e a Engenharia na produção nacional em ensino de engenharia na última década. A partir da pesquisa seminal do campo da bio-engenharia e da educação em engenharia, a produção nacional foi analisada à luz dos conceitos de engenharia de concepção, da interdisciplinaridade, da abordagem de temas contemporâneos e da bio-engenharia nas instituições de ensino. O objetivo do trabalho é evidenciar as características e o potencial construtivo dessa interdisciplinaridade. Para isso, foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica nos anais da Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE), com base em conceitos-chave relacionados ao tema determinados pela análise das Diretrizes Curriculares Nacionais de graduação em Engenharia, publicadas em 2019 e em consonância com publicações seminais no campo da bio-engenharia e do ensino de engenharia. Evidenciamos que, embora seja reconhecida a importância potencial do campo de interface da biologia e da engenharia, este ainda não figura entre os temas mais relevantes nas publicações nacionais em ensino de engenharia. Nas pesquisas relacionadas com o tema, o estudo da interdisciplinaridade é o mais prevalente, justificado pela necessidade de se formar engenheiros aptos ao ambiente laboral do engenheiro contemporâneo. Concluímos que é urgente que o campo de pesquisa em ensino de engenharia desenvolva pesquisas de forma a colaborar com a qualidade da formação em bio-engenharia no Brasil.

Promoção:



Realização:





COBENGE
2021

XLIX Congresso Brasileiro
de Educação em Engenharia
e IV Simpósio Internacional
de Educação em Engenharia
da ABENGE

28 a 30 de SETEMBRO

Evento Online

"Formação em Engenharia:
Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade"

Palavras-chave: Ensino de bioengenharia. Interdisciplinaridade. Engenharia de concepção. Diretrizes Curriculares Nacionais

Promoção:



Realização:



ESTUDO SISTEMÁTICO SOBRE O ENSINO DE BIOENGENHARIA E SUAS APLICAÇÕES

1 INTRODUÇÃO

A história da espécie humana sempre foi marcada, inegavelmente, pela forma como a humanidade se relacionou e se adaptou ao ambiente à sua volta. Disso tem-se, por exemplo, a delimitação dos períodos pré-históricos, em que o tipo de tecnologia das ferramentas utilizadas pelo ser humano determinava a Era a qual pertencia, sendo o Paleolítico o período da pedra lascada e o Neolítico o período da pedra polida, posteriormente a Idade dos Metais, e assim sucessivamente, a conexão do Homem com suas ferramentas determinando o seu período histórico. Na contemporaneidade, pode-se perceber a importância de movimentos como as Revoluções Industriais, fortemente dependentes da tecnologia disponível: a Primeira teve como grande símbolo o uso das máquinas a vapor, a partir da energia gerada pela queima do carvão; a Segunda ocorreu com a utilização do petróleo e da eletricidade, que permitiram o desenvolvimento dos modelos taylorista e fordista de produção; a Terceira, também chamada de Revolução Digital, apoia-se no desenvolvimento da microtecnologia dos transistores e computadores, que proporcionaram um controle cada vez mais automatizado das indústrias. Assim, a capacidade humana de lidar com a ciência e de produzir novas tecnologias a partir de seus aprendizados molda, de fato, a humanidade, uma vez que todos esses movimentos alteraram também a qualidade de vida, as relações sociais e os impactos ambientais de um dado tempo histórico.

Portanto, é de grande valor analisar de forma crítica quais os rumos a ciência e a tecnologia estão tomando, a fim de, também, direcioná-las ao caminho que mais traz benefícios como um todo para a sociedade, de modo sustentável e viável, dentro de um programa de controle de riscos, gerando investimento para pesquisas e inovações em áreas estratégicas. Esse direcionamento se mostra essencial ao se avaliar, por exemplo, o desenvolvimento na área da Bioengenharia ou da Engenharia Biológica nas últimas décadas: não era raro que, há alguns anos, fosse especulado que tal campo do conhecimento seria o grande marco do século, eventualmente responsável pelas maiores inovações e empreendimentos, até mesmo impulsionando uma Quarta Revolução Industrial a partir das inúmeras descobertas e possibilidades que geraria. Porém, observando a realidade atual, percebe-se um contexto bem diferente do esperado, em que uma Revolução Industrial até tem se estabelecido, na forma de Indústria 4.0, mas com pilares em outras tecnologias. A bioengenharia, por sua vez, como apontam alguns estudos da área (ENDY, 2005; Yoon, 2017) embora tenha apresentado certo crescimento, ainda se mostra tímida perto de todo o potencial do que poderia atingir.

Entretanto, hoje, em 2021, com a pandemia causada pelo SARS-CoV-2, as questões biológicas, sobretudo as aplicações em saúde se apresentam de forma urgente às engenharias e a todo desenvolvimento tecnológico. Percebemos que a grande evidência da necessidade humana de melhores sistemas de atendimento em saúde deva alterar radicalmente o panorama de prioridades do ensino em engenharia. Torna-se cada vez mais essencial buscar meios para formar pessoas aptas a lidar com as interfaces das ciências da vida e das tecnologias e fortalecer o trabalho que já tem sido feito com esse foco, a fim de impulsionar o desenvolvimento dessa parceria e, assim, alcançar o que ela pode de fato oferecer para a humanidade diante dos desafios de nosso tempo.

O presente trabalho se propõe a investigar o estabelecimento da interface BiologiaEngenharia na pesquisa em Ensino de Engenharia. Tomamos por objeto de pesquisa o campo de interface da Biologia com as Engenharias, não nos atendo às distinções conceituais, de escopo, institucionais e disciplinares, portanto, no presente texto utilizamos o termo bio-engenharia, de forma a conceituar a ideia do campo de interface, e não uma nova disciplina. Tal abordagem busca enfatizar o diálogo através das disciplinas e epistemologias e não tem por objetivo a categorização desta ou daquela disciplina, como por exemplo, a diferenciação da Engenharia Biológica, da Bioengenharia, ou da Biologia Sintética da Biotecnologia. Consideramos para o presente trabalho então a bio-engenharia como conjunto de todas essas áreas mencionadas como espaços de convergência entre a Engenharia e a Biologia, mesmo que com estruturas e objetivos específicos diferentes. Assim, será possível obter uma visão ampliada do diálogo interdisciplinar que já é realizado e do que se pode alcançar com a consolidação desse espaço de convergência.

2 METODOLOGIA

Para discutir a interface biologia-engenharias, desenvolvemos uma pesquisa do tipo estado da arte, inventariando sua presença nos trabalhos publicados nos últimos dez anos nos anais da COBENGE. Pesquisas em estado da arte "são reconhecidas por realizarem uma metodologia de caráter inventariante e descritivo da produção acadêmica e científica sobre o tema que busca investigar, à luz de categorias e facetas que se caracterizam enquanto tais em cada trabalho e no conjunto deles, sob os quais o fenômeno passa a ser analisado" (Ferreira, 2002, p257). Para essa pesquisa, foi utilizado o banco de periódicos da Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE), e inventariados os artigos publicados nas edições do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) dos anos de 2010 a 2020.

A escolha pelo período da pesquisa, dos dez anos mais recentes, se deveu ao fato de que, para o estudo desenvolvido, é de suma importância envolver o cenário atual, bem como a progressão dos assuntos e temas dentro desse contexto, a fim de que pudessem ser analisadas possíveis tendências e necessidades. Na pesquisa realizada, não estão inclusos os anos de 2013 e de 2015, uma vez que os bancos de artigos para os congressos realizados em tais anos ainda não estavam disponibilizados na plataforma da ABENGE. Optou-se também por uma pesquisa restrita a somente dez anos para que a discussão pudesse ser realizada de forma mais aprofundada, com uma observação minuciosa das publicações feitas ao longo dos últimos anos. Foi, portanto, feita uma leitura do texto completo (quando disponível) para a categorização e análises dos textos.

Para a elaboração das categorias de análise utilizamos conceitos relevantes Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para os cursos de graduação em Engenharia, atualizadas em 2019 e as analisamos à luz de artigos seminais que tratam especificamente da interface bio-engenharia publicados nos periódicos *Journal of Biological Engineering*, (que trata especificamente de avanços na união entre a Engenharia e a Biologia), e no *Journal of Engineering Education*, (focado na em pesquisas em ensino da Engenharia). As categorias de análise elencadas foram: a interdisciplinaridade, a engenharia de concepção, o ensino de graduação e os temas contemporâneos. O processo de elaboração das categorias de análise está apresentado na sessão Desenvolvimento desse trabalho.



3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Diretrizes Curriculares Nacionais para as Engenharias

As Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) para os cursos de graduação são elaboradas pelo Conselho Nacional de Educação (Ministério da Educação) e têm por finalidade recomendar uma harmonização curricular na rede de ensino superior brasileira. A regulamentação permite, assim, que as instituições desenvolvam seus cursos de ensino superior orientada por recomendações mínimas e eixos norteadores comuns, garantindo assim a qualidade e preservando as características regionais e vocações específicas de cada instituição. No ano de 2019, foram publicadas as novas DCNs para os cursos de graduação em Engenharia (BRASIL. Ministério da Educação, 2019), sendo este o documento analisado para os fins do presente trabalho.

Tratando da integração entre as áreas de Biologia e de Engenharia, as DCNs trazem, em seu texto, artigos que contribuem fortemente para justificar e incentivar a união entre as duas esferas, o que torna essa abordagem essencial para a construção da linha argumentativa que aproxima a Biologia do ensino das Engenharias em geral. Logo no "Capítulo II", intitulado "Do perfil e competências esperadas do egresso", são definidas características consideradas de grande valor para a formação do engenheiro, sendo necessário que as instituições de ensino superior busquem meios de fomentá-las e desenvolvê-las em seu corpo discente. Cabe ressaltar o Artigo 3º, com seus incisos I, II e IV, que afirmam que o perfil do egresso do curso de graduação em Engenharia deve compreender, entre outras, as seguintes características, "ter visão holística e humanista, ser crítico, reflexivo, criativo, cooperativo e ético e com forte formação técnica; estar apto a pesquisar, desenvolver, adaptar e utilizar novas tecnologias, com atuação inovadora e empreendedora;...e adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática. Essas características preconizadas pelas DCNs 2019 fundamentaram a categorização elaborada pela presente pesquisa, a saber, a Engenharia de Concepção, a interdisciplinaridade e a necessidade de tratamento de questões contemporâneas pela engenharia.

Aqui, nota-se, primeiramente, no inciso I, que o egresso deve desenvolver perfil criativo, possuindo também uma visão holística, o que pode ser fomentado através do contato direto com diferentes tipos de conhecimento. Uma abordagem que inclui um objeto de estudo fora do eixo comum já oferecido ao aluno pode promover a construção de um conhecimento estendido, fornecendo uma visão de mundo mais ampla ao aluno. Isso contribuiria diretamente para a consolidação do inciso II, associado a novas tecnologias, uma vez que não é possível abordar em um curso único todas as inovações existentes, mas é possível preparar o estudante para lidar com as novidades construindo nele habilidades para as transformações da ciência e da indústria, através do contato com a formação do conhecimento. Por fim, o inciso IV estabelece de forma explícita um dos caminhos para se alcançar as características anteriores, incentivando a integração entre disciplinas. Nessa situação, é que a Biologia pode desempenhar papel fundamental dentro da Engenharia, contribuindo para uma formação mais dinâmica e adaptável, pronta para reagir rapidamente às mudanças que a ciência e a indústria exigem.

O documento prossegue com o Artigo 4º, em que estabelece as competências que o curso deve proporcionar ao egresso. A seguir, destaca-se o inciso VIII: "aprender de forma autônoma e lidar com situações e contextos complexos, atualizando-se em relação aos

avanços da ciência, da tecnologia e aos desafios da inovação". (DCN, 2019) Como pode ser percebido, existe uma necessidade de atualização quanto aos avanços da ciência e da tecnologia e o engenheiro formado deve ser igualmente capaz de produzir novos conhecimentos e de desenvolver novas tecnologias. Nesse sentido, o ambiente universitário torna-se fundamental para o contato com os avanços tecnológicos, sendo essencial que esse também se atualize. Como já discutido anteriormente, a tecnologia envolvendo a Bioengenharia tem se tornado cada vez mais presente no meio científico e tem assumido papéis ainda mais relevantes no contexto atual, ou seja, mesmo que em um momento anterior se justificasse a não intersecção entre as áreas, ao longo dos anos cresce a urgência pela consolidação dessa parceria entre Biologia e Engenharia. Em um cenário futuro, tecnologias industriais e científicas envolvendo projetos que se comunicam com elementos biológicos serão mais comuns e os engenheiros formados devem estar aptos a lidar com essas transformações.

No "Capítulo III", "Da organização do curso de graduação em engenharia", o documento estabelece, de forma mais objetiva, a estruturação que deve ser adotada pelo curso. Assim, destaca-se a seguir o Artigo 6º, com os parágrafos 2º e 4º, onde o caráter de comprometimento com temas contemporâneos do engenheiro e, portanto, do ensino de engenharia é preconizado.

O parágrafo 2º observa que devem ser estimuladas as atividades que integrem teoria e prática, o que é necessário para desenvolver as competências estabelecidas anteriormente. Assim, torna-se de grande importância que se exercite, no âmbito acadêmico, vivências além do campo teórico, integrando os conhecimentos em aplicações diretas, como no desenvolvimento de projetos ou de laboratórios, a fim de consolidar os conhecimentos obtidos. Já o parágrafo 4º alerta, mais uma vez, para a importância das atividades integrativas e interdisciplinares que, dessa forma, em um contexto mais amplo, poderiam compor projetos integrados envolvendo a prática através da Biologia, de forma a atender às questões determinadas nas diretrizes. A recomendação ainda aponta a necessidade de tais atividades serem oferecidas desde o início do curso, e não apenas num caráter especializado.

Por fim, destaca-se também o Artigo 9º, parágrafo 1º que apresenta os conteúdos básicos mínimos de todo curso de Engenharia no Brasil. Percebe-se que Biologia não se enquadra dentre estes conteúdos, embora o documento especifique que não se limitam a esses, ou seja, poderia ser uma ciência também abordada em um curso de engenharia. Porém, é válido ressaltar que tal artigo evidencia a importância das ciências básicas como pilares de formação e que, em outros países, existe uma outra concepção acerca da composição do rol de conteúdos básicos para a engenharia, incluindo a Biologia dentre eles, como no ensino em lugares que seguem o modelo anglo-saxão (SILVEIRA, 2005), exemplo o Massachusetts Institute of Technology (MIT), ou no ensino do Japão (SAEKI; IMAIZUMI, 2013). Assim, mesmo que não seja explicitada a exigência da Biologia no currículo do Engenheiro, isso não significa que é uma decisão totalmente unânime e que não contribuiria para a graduação, pois tal integração interdisciplinar é aplicada e valorizada.

3.2 Engenharia de Concepção

O primeiro critério que escolhemos a partir das análises das DCNs o conceito de engenharia de concepção. Esse conceito aparece em periódicos seminais do campo,

notadamente em artigos que se dedicam a compreender o nascimento e estabelecimento da bio-engenharia. No artigo introdutório do *Journal of Biological Engineering (JBE)*, o artigo *Introducing Journal of Biological Engineering* (RILEY, 2007), o autor se propõe justamente a explicar o que motivou a criação do periódico e a evidenciar sua importância, dado o surgimento da disciplina de Engenharia Biológica e seu rápido crescimento. O autor destaca que, por essa intersecção entre os campos da Biologia e da Engenharia ser algo relativamente recente, não havia nenhuma publicação que a abordasse como uma disciplina científica em si, sendo tratada mais como uma coleção de aplicações diversas. Dessa forma, o JBE assume o objetivo de reunir discussões que fundamentem todas as aplicações na área. Para isso, uma das intenções do artigo é a de definir o que é a Engenharia Biológica. A princípio, a disciplina é uma engenharia baseada na ciência que exige tanto um desenvolvimento de conhecimentos no campo da Biologia quanto uma visão analítica e voltada para a solução de problemas. Assim, a relação interdisciplinar se torna mais profunda do que somente biologia influenciada pela engenharia ou do que abordagens da engenharia aplicadas a sistemas biológicos. Nesse sentido, Riley argumenta que, na biologia, o estudo se estabelece de forma reducionista, buscando sempre entender os sistemas na menor escala possível, enquanto, na engenharia, a proposta é, geralmente, construcionista, utilizando-se de componentes e de conceitos para desenvolver tecnologias e dispositivos. Porém, para a Engenharia Biológica, os dois métodos são utilizados ao mesmo tempo, de modo que a visão reducionista permita estabelecer qual será a unidade fundamental de um sistema biológico escolhida para, a partir da visão construcionista, permitir o design de um projeto mais complexo.

Além disso, o autor traz outras definições para a disciplina, como a apresentada por um departamento acadêmico no *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, em que o objetivo da Engenharia Biológica é o de compreender o funcionamento de sistemas biológicos e o de desenvolver tecnologias baseadas nesses sistemas para aplicações necessárias para a sociedade, desde a área da saúde, como em diagnóstico, tratamento e prevenção de doenças, até na produção de novos materiais, dispositivos e processos. Assim, embora exista uma grande importância da Engenharia Biológica para a Medicina, é válido ressaltar que o campo de atuação vai muito além, englobando também aplicações na agricultura, no meio ambiente e na ecologia, já que os avanços tecnológicos podem promover transformações diretas em matérias primas de diversos processos.

Posteriormente, um ponto crucial evidenciado no artigo é justamente o fato de que a Biologia lida com organismos vivos, o que não está presente nos estudos de Química ou Física aplicadas, por mais complexos que sejam. Assim, existe ainda um grau de complexidade envolvendo, por exemplo, um comportamento populacional, que deve ser analisado cuidadosamente. Ao mesmo tempo que a área apresenta um grande potencial, já que possibilita desde a sintetização de novos organismos a processos de bioconversão, permitindo recuperações de sistemas ambientais, é necessário que se tenha em consideração os possíveis impactos negativos gerados, uma vez que se utiliza de organismos vivos e, portanto, todos os processos devem ser realizados de modo sustentável. O autor alerta que é fundamental que um processo executado dentro da Engenharia Biológica não seja apenas executado de acordo com as pressões econômicas e de mercado, mas que também seja feito dentro de um controle que não afete o ecossistema. Por fim, Riley registra o escopo pretendido para o JBE, reforçando a importância da área emergente. Assim, o periódico se propõe a integrar Engenharia e

Biologia através de artigos e trabalhos desenvolvidos, produzindo métodos, modelos e informações sobre diversos assuntos, como biologia sintética, engenharia de dispositivos que se comunicam com sistemas biológicos, engenharia de bioprodução, engenharia ambiental e educação em engenharia biológica. Dessa forma, o JBE pode se tornar uma referência no campo, facilitando diálogos e discussões, bem como incentivando avanços tecnológicos e promovendo uma melhor divulgação do que é feito ao redor do mundo na Engenharia Biológica. Já em 2017, a revista publicou um novo artigo (YOON, 2017), com o propósito de analisar seu impacto ao longo dos dez anos de existência e de destacar os avanços alcançados na área e reforça o conceito de engenharia de concepção anunciado dez anos antes no artigo de Riley (RILEY, 2007). Notadamente, na década analisada o JBE colaborou para a compreensão da diversidade de aplicações e para o surgimento de um espaço interdisciplinar onde a colaboração e diálogo de ciências distintas produzem uma nova forma de explicar os fenômenos naturais e propor soluções tecnológicas.

3.3 Interdisciplinaridade

O artigo "*Foundations for engineering biology*" (ENDY, 2005) elabora conceitos e interdisciplinaridade, a segunda categoria que elencamos a partir das DCNs (2019) para as análises no presente trabalho. No artigo o autor explora a discussão de que, embora a intersecção entre Biologia e Engenharia tenha produzido resultados consideráveis, como na manipulação de informação, no desenvolvimento de materiais e na manutenção e melhoria das condições da saúde humana e do ambiente, ainda existe uma forte limitação no que tange a capacidade de construir sistemas biológicos de forma rápida e confiável que se comportem dentro de padrões esperados. Endy afirma que mesmo após avanços significativos na Biologia Sintética relatados em um artigo de 1978, abrindo caminho para uma nova área de desenvolvimento científico, tal campo ainda não amadureceu a ponto de permitir a síntese de sistemas biológicos de baixo custo e de alta confiabilidade. Assim, a proposta do autor é justamente discutir o porquê de a Biologia Sintética não ter encontrado o nível de desenvolvimento esperado ao longo dos anos, abordando quais fundamentos seriam necessários para essa disciplina fundada na interdisciplinaridade se estabelecer de forma concreta e significativa. No artigo o autor discute quatro fatores que limitam a interdisciplinaridade no caso específico da bio-engenharia, sendo eles a incapacidade de contornar a complexidade dos sistemas biológicos, a inconfiabilidade na construção e na caracterização de sistemas biológicos sintéticos, a variação aparentemente espontânea no comportamento dos sistemas biológicos e a própria evolução em si. É interessante notar que, escrito a partir da visão e da lógica da engenharia, os organismos biológicos não se comportam como os sistemas com os quais os engenheiros estruturaram suas práticas e conhecimentos. Assim, atualizar os sistemas e propriedades da engenharia é fundamental para as condições impostas pelos próprios sistemas vivos. O artigo segue definindo como cada um dos processos da Engenharia poderia contribuir para a construção desse campo de trabalho compartilhado com a Biologia. O autor propõe estratégias como padronização para os sistemas biológicos desenvolvidos para superar dificuldades de replicação dos processos; propõe o desacoplamento, baseado na ideia de separar um problema complexo em problemas mais simples de serem resolvidos separadamente e propõe estratégias que ele chama de abstração, em resposta a complexidade inerente à compreensão dos sistemas biológicos.

Por fim, o artigo alerta para a necessidade de uma análise crítica de riscos, dado que ao lidarmos com tecnologias desconhecidas e dado o fato de envolver sistemas biológicos, que diferentemente de outros sistemas produzidos pela engenharia, podem se reproduzir, é imperioso uma compreensão aprofundada sobre a segurança e a sustentabilidade de tais tecnologias. Somente com uma fundamentação consciente e inteligente da sua base poderá colaborar para a construção de uma sociedade mais avançada e pronta para enfrentar os desafios que surgem.

Na mesma linha de análise da interdisciplinaridade, o artigo "*A partnership between biology and engineering*" (BRENT, 2004) foca em desenvolver um esclarecimento do que seria de fato essa parceria entre a Biologia e a Engenharia, explorando esse campo interdisciplinar e delimitando a atuação de cada uma das áreas, sem deixar de evidenciar os potenciais benefícios resultantes de seu estabelecimento. O autor destaca que, se tanto os engenheiros quanto os biólogos forem claros e honestos com relação às limitações de suas capacidades, essa intersecção entre as áreas pode estimular o avanço de ambas. Ele afirma que a parceria entre as duas grandes áreas é de enorme valor, pois o aumento na compreensão biológica aumenta também a capacidade humana de viver bem. Ele avalia que assim como no século XX, a habilidade de manipular a corrente elétrica e os bits e de construir circuitos foi importante para a economia, a capacidade biológica tem o mesmo potencial para a atualidade. E o impacto dessa interface não se resume apenas à área da saúde e da agricultura, mas também se expande a vários outros setores, desde a geração de energia e da fabricação material até a construção de artigos mais complexos como veículos e computadores, sendo assim um campo altamente estratégico para o futuro.

3.4 Educação em Bio-engenharia

Ao analisarmos os artigos que discutem a necessidade de se estabelecer as bases de uma engenharia de concepção para a solução de problemas contemporâneos, da necessidade de se implementar esforços no sentido de superar as fronteiras que desafiam a interdisciplinaridade, fica patente compreender como o Ensino de Engenharia tem oportunizado espaços de formação que contemplem tais desafios. Muitas são as aplicações da bio-engenharia, sendo a promessa de inovação e desafios ambientais e de saúde, fatores fortemente estimulantes para estudantes ao decidirem por uma carreira, o que tem impulsionado cada vez mais alunos a buscar por programas interdisciplinares para complementar a formação universitária.

Nesse sentido, Aluru e Rover em seu artigo, "*Work in progress-an interdisciplinary initiative in bioengineering education*" (ALURU; ROVER, 2008), descrevem como a Faculdade de Engenharia de *Iowa State University* iniciou um programa de Minor em Bioengenharia para os graduandos em Engenharia, e discutem os desafios do estabelecimento interdisciplinar no ensino daquela instituição. O objetivo do programa é de que os alunos apliquem as habilidades obtidas com o curso de engenharia para solucionar problemas e para desenvolver produtos e dispositivos a partir de sistemas biológicos, tornando-os mais aptos para aprofundar os estudos nessa área e aplicá-los também em outros setores, como na biologia, na agricultura e na saúde. O artigo então apresenta a estrutura do currículo, identificando o que seria necessário de conhecimentos para o graduando em engenharia se comunicar efetivamente com a biologia, garantindo uma interdisciplinaridade funcional. É evidente que a Biologia, bem como a Bioengenharia, são campos de estudos muito profundos, o que exige, para um ensino adequado, focar em uma

especialização. Por isso, o currículo se dividiu em dois: a primeira parte consiste de um currículo básico, comum para todos os estudantes que optarem pelo programa, que abordaria um conhecimento mais amplo da bioengenharia. Posteriormente, o estudante seguiria por alguma especialização escolhida, após já possuir um entendimento melhor das diversas possibilidades.

Para o currículo básico, são oferecidos dois cursos introdutórios (Introdução à Bioengenharia I e Introdução à Bioengenharia II), em que se aborda a Biologia em escala crescente, partindo do estudo das macromoléculas até o estudo de uma população de organismos. Ao mesmo tempo, os alunos serão ensinados sobre princípios e dispositivos da Engenharia que permitem o monitoramento, a medida e a interação com os sistemas biológicos em cada uma das escalas abordadas. Desde o início portanto o aluno está exposto ao ambiente de interface das duas disciplinas de forma a ter oportunidade de experimentar as especificidades, os conflitos e as convergências da bio-engenharia.

Já para a especialização, a proposta é que os estudantes escolham entre caminhos disponíveis para focar em um assunto, mas permite-se também que escolham matérias individuais de cada um dos caminhos de acordo com os interesses. As possibilidades de especialização inicialmente desenvolvidas para o minor foram em: Bioinformática e Biologia de Sistemas; Biomecânica e Biomateriais; Bio Microssistemas; Biossistemas e Engenharia Ambiental. Com isso, conclui-se que a universidade não só irá promover uma graduação ainda mais rica e capacitadora para seus alunos, como também desenvolverá novos cursos e laboratórios, ampliando o campo de atuação e o potencial da instituição, com ênfase na engenharia de concepção e pesquisa.

3.5 Temas Contemporâneos

Acreditamos que nos próximos anos, a partir do ano corrente de 2021 a prevalência da biologia em sua interface com as engenharias seja sensivelmente aumentada, dado o caráter emergente de soluções em saúde determinadas pela pandemia SARS-COV-2. O presente trabalho poderá servir como base para essa discussão no futuro próximo. Por isso categorizamos os artigos publicados na COBENGE 2010-2020 que tratavam de temas contemporâneos da época. Assim, teremos condições de avaliar como o ensino da bioengenharia tem se estruturado ao redor dos temas contemporâneos e prever como as questões socio-ambientais e de saúde têm influenciado o campo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização da pesquisa e a indexação dos artigos utilizados¹, quantificou-se as publicações presentes em cada conceito por ano, além do número total de publicações. É válido destacar que uma mesma publicação pode ser relacionada a mais de um conceito-chave. A Figura 1 mostra os resultados obtidos de acordo com cada categoria analisada.

¹ A lista com os artigos selecionados como base para a pesquisa bibliométrica podem solicitados aos autores por e-mail a qualquer tempo.

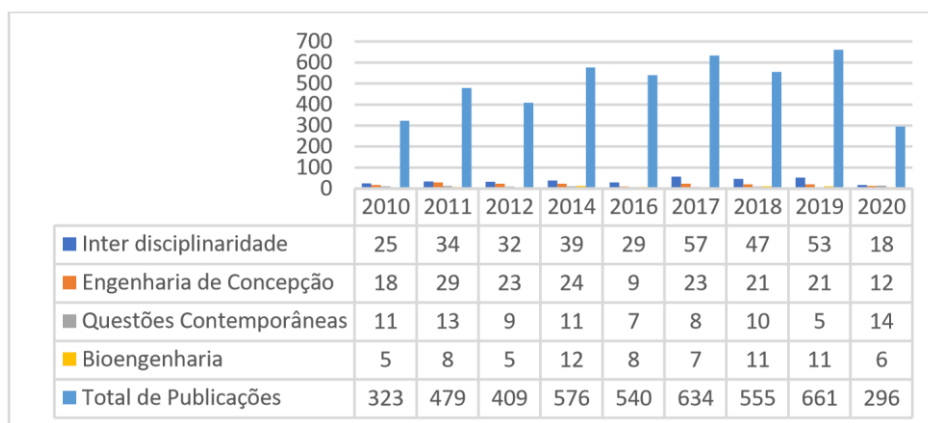


FIGURA 1 – Quantidade de publicações no COBENGE por tema, em números absolutos, ao longo dos anos. Fonte: Anais COBENGE
http://www.abenge.org.br/sis_artigos.php

Para analisarmos os artigos selecionados de acordo com as categorias de análise, elaboramos um gráfico (figura 2) que mostra o número absoluto de trabalhos publicados em cada categoria por ano. Nota-se então uma prevalência de artigos envolvendo a interdisciplinaridade, sobretudo nas publicações mais recentes. Dessa forma, percebe-se que a interdisciplinaridade é percebida pela comunidade de pesquisa em ensino de engenharia um aspecto fundamental na formação de engenheiros.

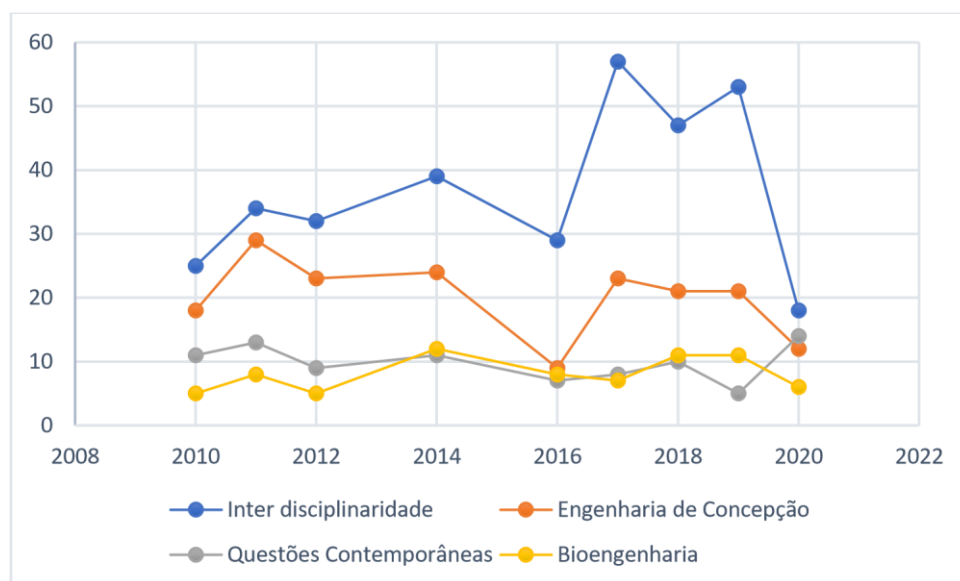


FIGURA 2. Quantidade anual de publicações nos anais do COBENGE em cada categoria de análise. Fonte: Anais COBENGE
http://www.abenge.org.br/sis_artigos.php

Sem dúvidas, cada vez mais o mercado exige um engenheiro capaz de relacionar e de comunicar diferentes áreas, não se limitando a apenas um setor, já que os trabalhos e os projetos tendem a se tornam cada vez mais complexos e, portanto, necessitar de equipes

multidisciplinares. Essa necessidade está expressa em uma significativa quantidade de artigos do campo de ensino de engenharia no Brasil e é referendada pela presente pesquisa.

É perceptível também a relevância que o papel de inovação estabelece nesse cenário. O engenheiro de concepção, ou seja, capaz de produzir novos conhecimentos e inovar se torna cada vez mais cobiçado e importante, dadas as rápidas transformações na ciência e na indústria. Muitas das publicações selecionadas envolviam o desenvolvimento dessas competências durante a graduação através de métodos de ensino ativos, em que o aluno é estimulado ao aprendizado a partir da solução de problemas e a buscar soluções criativas e críticas, fortalecendo as competências associadas à concepção. Acreditamos que a interface bio-engenharia seja extremamente útil nesse sentido e forneça desafios notáveis e palpáveis para a formação do engenheiro de concepção.

Quanto às questões contemporâneas, os dados obtidos mostraram uma constante, embora baixa incidência de artigos publicados no tema. Tais publicações discutiram situações-problema locais que foram apresentadas aos estudantes de engenharia como instrumento de aprendizagem. O número baixo de publicações dessa natureza mostra que o ensino de engenharia não tem focado prioritariamente no envolvimento de alunos na solução de problemas contemporâneos em bio-engenharia, tampouco tem se remetido à projetos de extensão como ferramenta de aprendizagem. A partir das DCNs (2019), notase a necessidade de superar modelos de ensino apoiados da extensa memorização de dados e informações, na exclusiva abordagem de conteúdos conceituais e a forte recomendação dos currículos de engenharia privilegiarem o ambiente colaborativo e de criação. Não se pode negar que o engenheiro deve estar pronto para atender as demandas urgentes da sociedade. Um forte exemplo tem sido durante a emergência sanitária 2020/2021, em que respiradores e equipamentos de detecção de vírus, bem como a criação de vacinas e as novas plantas de produção delas, foram e continuam sendo desenvolvidos e produzidos com ampla participação de engenheiros em instituições de ensino e pesquisa. Assim, acreditamos que a pesquisa em ensino de engenharia possa analisar de forma sistemática e ampla os avanços e desafios que as instituições de ensino de engenharia têm enfrentado de forma a colaborar com as soluções necessárias na interface bio-engenharia.

Por fim, em relação à presença de publicações envolvendo diretamente a Bioengenharia no ensino, percebe-se que não houve um número significativo de artigos, tampouco uma ascensão mesmo que mínima ao longo dos últimos dez anos, embora haja um crescimento de instituições e cursos na área (*in press*, 2021). Pode-se notar, entretanto, uma diferenciação quanto aos tipos de trabalho desenvolvidos: nos primeiros anos analisados, de 2010 a 2014, as publicações envolveram a Biologia apenas como um aspecto de aplicação da engenharia. Já a partir de 2016, foram publicados artigos com uma interlocução maior entre Engenharia e Biologia, em projetos mais robustos, considerando principalmente a interação entre Engenharia Eletrônica e Medicina.

5 CONCLUSÃO

O trabalho aqui desenvolvido explorou, a partir de uma pesquisa bibliográfica, a integração entre Biologia e Engenharia no campo de pesquisa em Ensino de Engenharia. Foram evidenciadas as dificuldades existentes e os potenciais benefícios da efetivação de tal parceria. Com base nisso, observando o amplo espaço disponível para investimento e

para desenvolvimento desse setor na Engenharia brasileira, uma análise de publicações associadas ao tema e a tópicos comuns foi realizada a fim de compreender a atual relevância do assunto no contexto educacional nacional. Dos resultados, pode-se extrair que existe uma necessidade premente de compreensão das competências interdisciplinares e das adaptações necessárias dos currículos de engenharia brasileiros a fim de alcançarmos uma formação competente de engenheiros para lidarem com a bioengenharia. Outro ponto de destaque é de que a pesquisa em ensino de engenharia não tem descrito ações das engenharias em temas contemporâneos: embora perceba-se que a bio-engenharia é uma área essencial para o tratamento de questões emergentes, ainda existe um número baixo de trabalhos na área, o que aponta para a necessidade de produzirmos pesquisas no campo. Também é emergente o fato de que a humanidade precisa de profissionais capacitados para atuar na interface bio-engenharia, dados os enormes desafios contemporâneos em saúde e para a sustentabilidade. Esperamos, portanto, colaborar no sentido de integrar cada vez mais as disciplinas de Engenharia e de Biologia, sobretudo na formação de engenheiros que atuem interdisciplinarmente na busca de soluções éticas e sustentáveis.

6 REEFERÊNCIAS

ABENGE/CONFEA. Perfil do engenheiro do século xxi. Abenge/Confea, 1991.

ALURU, M. R.; ROVER, D. T. Work in progress-an interdisciplinary initiative in bioengineering education. In: IEEE. **2008 38th Annual Frontiers in Education Conference**. [S.l.], 2008. p. S1E–3.

BORGES, R. C. Aquisição de sinais eletromiográficos: O uso do pbl para desenvolvimento de um protótipo na área de engenharia biomédica. p. 10, 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. **Diretrizes curriculares nacionais do curso de graduação em Engenharia**. [S.l.]: MEC Brasília, 2019.

BRENT, R. A partnership between biology and engineering. **Nature Biotechnology**, Nature Publishing Group, v. 22, n. 10, p. 1211–1214, 2004.

BYRNE, J.; GRAY, L. Neuroscience online: An electronic textbook for the neurosciences <http://nba.uth.tmc.edu/neuroscience>. **Department of Neurobiology And Anatomy—The University of Texas Medical School at Houston (UTHealth)** r, v. 2012, 1997.

CHARAND, K. X. **Transmission of a nerve impulse along an axon**. 2006. Disponível em: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Biology/nervecell.html>>.

ENDY, D. Foundations for engineering biology. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 438, n. 7067, p. 449–453, 2005.

FERNANDES, A. C.; MAGALHÃES, I. N. D. de; SOUZA, M. A.; JÚNIOR, A. G. daC.; MOREIRA, C. da S. Sistema de aquisição de sinais ecg processado pelo labview com comunicação wi-fi através do módulo esp8266. 2016.

FERREIRA, N. As pesquisas denominadas "estado da arte". **Educação & Sociedade**, 79, p. 257-272. 2002

FRANÇA, J. V.; FERRAZ, A. M.; MIRANDA, W. L. Processamento de neurosinais do hardware mindwave-análise de ruídos e filtros para obtenção do espectro de frequências. 2018.

HEINEMANN, M.; PANKE, S. Synthetic biology—putting engineering into biology. **Bioinformatics**, Oxford University Press, v. 22, n. 22, p. 2790–2799, 2006.

HIONG, L.; OSMAN, K. An interdisciplinary approach for biology, technology, engineering and mathematics (btem) to enhance 21st century skills in malaysia. **K-12 STEM Education**, The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), v. 1, n. 3, p. 137–147, 2015.

KEENER, J. P.; SNEYD, J. **Mathematical physiology**. [S.l.]: Springer, 1998.

LIN, C.-L.; KUO, T.-Y.; LI, W.-X. Synthesis of control unit for future biocomputer. **Journal of biological engineering**, Springer, v. 12, n. 1, p. 14, 2018.

MARCHISIO, M. A. In silico design and in vivo implementation of yeast gene boolean gates. **Journal of biological engineering**, Springer, v. 8, n. 1, p. 6, 2014.

NETO, P. d. A. C.; SILVA, J. B.; SANTOS, A. F. dos; JÚNIOR, A. G. da C. Implementação de um eletromiógrafo de baixo custo: Uma forma pedagógica da adoção da aprendizagem baseada em problemas em engenharia biomédica. 2016.

PHILLIPS, N.; DRAPER, T. C.; MAYNE, R.; ADAMATZKY, A. Marimo machines: oscillators, biosensors and actuators. **Journal of biological engineering**, Springer, v. 13, n. 1, p. 72, 2019.

RILEY, M. R. **Introducing journal of biological engineering**. [S.l.]: Springer, 2007.

SAEKI, H.; IMAIZUMI, S. **International comparative study: engineering education in India**. [S.l.]: International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 2013.

SENSOLO, A. B.; SCOLARO, G. R.; BIELSKI, K. Interface de baixo custo utilizando eletrooculograma para o controle de dispositivos diversos: Aplicação em cadeira de rodas. p. 11, 2017.

SILVEIRA, M. A. da. **A formação do engenheiro inovador: uma visão internacional**. [S.l.]: PUC/RJ, 2005.

TADMOR, B.; TIDOR, B. Interdisciplinary research and education at the biologyengineering-computer science interface: a perspective (reprinted article). **Drug discovery today**, Elsevier, v. 10, n. 23-24, p. 1706–1712, 2005.

VINCENT, J. F.; MANN, D. L. Systematic technology transfer from biology to engineering.



Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, The Royal Society, v. 360, n. 1791, p. 159–173, 2002.

YOON, J.-Y. **Towards the 10-year milestone of Journal of Biological Engineering**. [S.l.]: BioMed Central, 2017.

ZAKON, A.; NASCIMENTO, J. L. do; SZANJBERG, M. As funções dos cientistas, engenheiros, técnicos e tecnólogos. In: **Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Brasília, Cd-Rom**. [S.l.: s.n.], 2003.

Agradecimento: CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

STUDY OF THE INTERFACE OF BIO-ENGINEERING IN RESEARCH IN ENGINEERING TEACHING IN BRAZIL IN THE DECADE 2010 TO 2020

Abstract: The present work has the objective of analyzing the space of convergence between Biology and Engineering in the national production in engineering education in the last decade. Based on seminal research in the field of bio-engineering and engineering education, national production was analyzed in the light of the concepts of design engineering, interdisciplinarity, the approach to contemporary themes and bio-engineering in educational institutions. The objective of the work is to highlight the characteristics and the constructive potential of this interdisciplinarity. For this, bibliographic research was developed in the annals of the Brazilian Association of Education in Engineering (ABENGE), based on key concepts related to the theme determined by the analysis of the National Curriculum Guidelines for undergraduate Engineering, published in 2019 and line with publications seminal studies in the field of bio-engineering and engineering education. We show that, although the potential importance of the interface field of biology and engineering is recognized, it still does not figure among the most relevant themes in national publications in engineering education. In research related to the theme, the study of interdisciplinarity is the most prevalent, justified by the need to train engineers qualified to the work environment of the contemporary engineer. We conclude that the field of research in engineering education must develop research to collaborate with the quality of training in bio-engineering in Brazil. **Keywords:** Bioengineering teaching. Interdisciplinarity. Design engineering. National Curriculum Guidelines.