Temáticas de Física Moderna e Contemporânea para o Ensino de Engenharia: um estudo a partir da técnica Delphi

Modern and Contemporary Physics Topics to Engineering Teaching: a study from the Delphy technique

Tadeu Samuel Pereira¹, Mikael Frank Rezende Junior²

1 - Mestre em Ensino de Ciências – UNIFEI. Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IFSUDESTEMG). E-mail.: tadeu.pereira@ifsudestemg.edu.br

2 - Doutor em Educação Científica e Tecnológica - UFSC. Professor da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI. E-mail.: mikael@unifei.edu.br

Recebido em: 11/06/2024

Revisado em: 28/11/2024

Aprovado em: 12/12/2024

Resumo: No âmbito das discussões curriculares, a temática da Física Moderna e Contemporânea (FMC) tem sido um tema presente na literatura tanto nas áreas da Educação em Ciências como do Ensino de Engenharia. Neste trabalho, é apresentado o resultado de uma investigação que buscou por um consenso sobre os tópicos de FMC que poderiam se fazer presentes nos cursos de formação de engenheiros no Brasil. O estudo teve como participantes: professores de engenharia, engenheiros atuantes em atividades de engenharia e pesquisadores do ensino de engenharia. Utilizou-se da Técnica *Delphi* para a coleta e análise dos dados. Os resultados indicam uma convergência para os temas de Física do Estado Sólido, Semicondutores e Função de Onda.

Pavras chave: Técnica Delphi Ensino de Engenharia, Física Moderna e Contemporânea

Abstract: Within the scope of curricular discussions, the theme of Modern and Contemporary Physics (MCP) has been a topic present in the literature both in the areas of Science Education and Engineering Teaching. In this work, the result of an investigation is presented that sought a consensus on the MCP topics that could be present in engineering training courses in Brazil. The study participants included: engineering teachers, engineers working in engineering activities and engineering education researchers. The Delphi Technique was used to collect and analyze data. The results indicate a convergence on the topics of Solid-State Physics, Semiconductors and Wave Function.

Keywords: Delphi Technique, Engineering Education, Modern and Contemporary Physics.

Introdução

As discussões sobre o ensino da Física Moderna e Contemporânea (FMC) para a escola básica tem se mantido como uma temática importante no meio acadêmico, como indicado em trabalhos revisões mais atualizados e específicos (Goulart; Leonel, 2022; Januário *et al*, 2024; Marques *et al*, 2019; Oliveira, 2021; Veloso *et al*, 2022), como as revisões mais clássicas e gerais (Ostermann; Moreira, 2016; Pereira; Ostermann, 2009; Silva; Almeida, 2011; Arengi; Lino; Silva, 2013). Sobre o conteúdo específico desta temática, estudos como os de Ostermann (2000), Brockington (2005), Rezende Jr e Souza Cruz, (2009), Siqueira (2006), Silva (2011) propõem tópicos e temas importantes de FMC a serem apresentados e inseridos no Ensino Médio, em variadas circunstâncias e contextos didáticos.

No entanto, ainda que questões relativas a essa temática tenham se disseminado na literatura, especialmente em relação ao Ensino Médio, há escassas discussões sobre esses assuntos na Educação de nível superior, principalmente em cursos como os de engenharia. Desta forma, no presente estudo, voltaremos nosso olhar para a formação em engenharia, área importante no cenário da ciência e tecnologia, especialmente para aqueles que vão pesquisar e trabalhar na fronteira do conhecimento científico e tecnológico, utilizando tanto das técnicas quanto da Tecnologia e da Ciência para

resolver problemas práticos e atuar no desenvolvimento de artefatos tecnológicos. Conforme explicitado em Perfolli e Rezende Jr (2006), Souza (2014) e Souza, Custódio e Rezende Junior (2018), apesar de haver uma série de pesquisas sobre o Ensino de FMC na Educação Básica e nos cursos de licenciatura, são escassos trabalhos semelhantes para cursos superiores de engenharias.

Além disso, Souza, Custódio e Rezende Junior (2018) argumentam que os fundamentos e justificativas não devem ser os mesmos utilizados para defender a presença da FMC no Ensino Médio, visto que esta etapa da Educação Básica tem propósitos muito diferentes dos cursos de formação profissional superior. Dessa forma, considerando que um dos objetivos dos cursos de Engenharia é a formação de pessoal responsável pelo desenvolvimento de atividades de natureza científica e tecnológica, é mister ressaltar que o desenvolvimento de tecnologias fundamentadas em temáticas de FMC tem sido alvo de significativos aportes e investimentos pelas nações economicamente mais prósperas. Um exemplo são os Estados Unidos da América que, no início do século XXI, já destinavam o equivalente a 30% do seu PIB diretamente para tecnologias decorrentes da FMC, em especial com a Física Quântica (SBF, 2005). Ademais, a forte presença da tecnologia na sociedade moderna tem se mostrado um poderoso motor da cultura, com desenvolvimento em áreas como medicina,

comunicações, exploração espacial, desenvolvimento de novos materiais, nanotecnologia, energia nuclear, dentre outros (Souza; Custódio; Rezende Junior, 2018).

Neste cenário, é natural que surjam muitas questões referentes à formação dos engenheiros, pois, para que estes profissionais tenham ferramentas para criar, desenvolver ou adaptar tecnologias contemporâneas, é imprescindível que temáticas como a FMC de alguma forma estejam contempladas na sua formação. Apesar da inerente relação entre a FMC e a prosperidade financeira de nações, bem como o desenvolvimento e funcionamento de tecnologias modernas, no Brasil tais elementos ainda estão timidamente presentes nas propostas curriculares de cursos de áreas tecnológicas como as engenharias. Um olhar sobre as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia (DCNCE), instituídas pelo Conselho Nacional de Educação e pela Câmara de Educação Superior, segundo a resolução CNE/CES nº 02, de 24 de abril de 2019, indica que, apesar de existir uma certa obrigatoriedade de conteúdos de Física estarem presentes nos currículos desses cursos, não há quaisquer indicações sobre quais conteúdos podem/devem ser tratados, ficando isto a critério das Instituições de Ensino Superior (IES) (Brasil, 2019).

A preocupação com esta aparente defasagem tem chamado a atenção de pesquisadores como Manini e Dias (2006),

Mckagan et al. (2006), Niño et al. (2006) e Lemes e Rezende Junior (2011), que propuseram investigações sobre a necessidade de implantação e ampliação da presença da FMC de maneira mais efetiva em cursos de Engenharia, inclusive para proporcionar aos profissionais engenheiros a capacidade de acompanhar inovações tecnológicas decorrentes desses conhecimentos, não somente para utilizá-los, mas também para desenvolvê-los.

Nesta direção, uma formação voltada para uma melhor compreensão de temas da Física contemporânea é um objetivo do qual a formação de engenheiros não deveria se distanciar, principalmente para que esses profissionais não se tornem dependentes do desenvolvimento de tecnologias modernas importadas e, por consequência, não se tornem consumidores profissionais acrílicos de tecnologias. Mas, quais seriam os temas/tópicos a serem privilegiados ou que poderiam ser apresentados/trabalhados em cursos de Engenharia no Brasil?

Para buscar responder esta questão, tomamos como inspiração e balizamento teórico-metodológico a investigação de Ostermann (2000), que, em outro cenário, procurou estabelecer junto à comunidade brasileira de físicos, professores de Física e pesquisadores em Ensino de Física, os temas e tópicos de FMC que poderiam estar presentes no Ensino Médio no contexto da atualização curricular deste nível de ensino. Na busca por

um consenso entre esses especialistas e por meio de uma técnica de consulta conhecida como Delphi, Ostermann (2000) chegou a uma lista de tópicos e temas que poderiam atualizar os conteúdos da Física escolar brasileira, bem como apontou resultados muito relevantes para a área de Ensino de Física, mais especificamente sobre o tema da introdução da FMC na educação básica.

Já em relação ao ensino da Física nos cursos de Engenharia, entendemos que o problema de pesquisa aqui indicado é análogo ao do estudo de Ostermann (2000), pois, além de não haver um consenso sobre quais tópicos da FMC inserir neste nível de ensino, também existem outros agentes envolvidos em um campo curricular repleto de especificidades.

Desta forma, resguardadas as limitações desta analogia e por se tratar de outro campo e outro nível de ensino, neste trabalho avançamos na busca, a partir da Técnica Delphi, por um consenso sobre quais tópicos da FMC poderiam ser inseridos no processo formativo de Engenheiros, por meio de uma consulta a professores de Engenharia, pesquisadores em Ensino de Engenharia e engenheiros atuantes, para com isso ter elementos para aportar reflexões sobre a importância da presença de tais temáticas nos cursos de formação de Engenheiros no Brasil.

A técnica Delphi

A técnica Delphi foi proposta e desenvolvida no início dos anos de 1960 por

Olaf Helmer e Dalkey Gordon, com o propósito de elaborar prognósticos imediatos e de longo prazo, bem como obter um consenso de opiniões de especialistas sobre uma temática complexa, por meio de uma sequência de questionamentos da forma mais objetiva possível (Corrêa; Cunha; Munerato, 2013).

Buscando uma definição quando não se tem um consenso sobre uma temática específica, a técnica Delphi é caracterizada como “um método para a estruturação de um processo de comunicação grupal de modo que este processo seja eficaz para que um grupo de indivíduos possa lidar com um problema complexo” (Linstone; Turoff, 2002, p. 03 – tradução nossa). E para executar este tipo de procedimento são necessários alguns cuidados, a saber: a) alguma retroalimentação das contribuições individuais dos componentes do grupo quanto às informações e conhecimentos fornecidos; b) alguma avaliação do julgamento ou visão do grupo; c) alguma oportunidade para os indivíduos revisarem suas opiniões.

Neste trabalho fizemos então um Exercício Delphi, que consiste em uma série de rodadas de questionamentos, organizadas de modo que as respostas individuais sejam inicialmente desconhecidas dos demais membros participantes, mas um *feedback* de uma rodada seja considerado em uma próxima rodada, proporcionando uma melhor convergência entre os participantes. Em geral,

na técnica Delphi temos os seguintes passos: (i) Definição do problema; (ii) Seleção dos especialistas para compor o painel de especialistas; (iii) Elaboração do questionário inicial; (iv) Coleta das respostas; (v) Análise das respostas fornecidas e fornecimento de *feedback* aos especialistas. A partir do passo (v), segue-se para a repetição dos passos (iv) e (v) por tantas rodadas quantas forem necessárias para que as opiniões dos especialistas comecem a convergir. A sequência se encerra quando se observa uma estabilidade e convergência das respostas ou quando não há mais avanços em termos de convergência.

Cabe ressaltar que, embora o método Delphi e suas aplicações em Educação tenham um grande potencial como ferramenta metodológica, ela ainda é pouco utilizada no Brasil (Marques; Freitas, 2018). No entanto, o trabalho revisional de Antunes (2014) indica a aplicabilidade da técnica Delphi na Educação e seus possíveis campos de intervenção. Exemplos recentes podem ser encontrados em Almeida, Peixoto e Albuquerque (2022), que utilizam o método Delphi na busca de consensos no ensino superior no contexto pandêmico; ou em Lima, Nunes e Souza (2020), que a utilizam para um estudo com professores de ciências dos anos iniciais em salas multisseriadas.

Materiais e Métodos

Este estudo enquadra-se na perspectiva da pesquisa qualitativa (Lüdke; Antré, 2018) e constitui-se como um recorte de uma pesquisa mais ampla voltada à introdução do Ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) em diversos níveis escolares. O presente estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética sob o protocolo nº 3.923.820.

A partir da definição do nosso problema de investigação, qual seja, determinar, a partir da visão de especialistas quais tópicos FMC poderiam ser incorporados nos currículos dos cursos de Engenharia no Brasil, este estudo foi conduzido utilizando a Técnica Delphi em um contexto específico do ensino de engenharia, seguindo os passos: (i) Seleção dos especialistas: foram selecionados professores de engenharia, engenheiros atuantes no mercado e pesquisadores do ensino de engenharia. A seleção considerou a experiência acadêmica e profissional dos participantes, garantindo uma diversidade de perspectivas; (ii) elaboração do questionário inicial contendo pergunta sobre a indicação de tópicos de FMC para contexto da formação em engenharia; (iii) coleta das respostas.

O questionário foi enviado aos especialistas selecionados, solicitando suas opiniões detalhadas sobre cada tópico proposto; (iv) análise das respostas e *feedback*. As respostas foram analisadas qualitativamente, fornecendo um resumo dos pontos de convergência e divergência. Esse

feedback foi então enviado aos especialistas para revisão e ajuste de suas respostas em rodadas subsequentes; (vi) rodadas adicionais.

O processo de coleta e análise de respostas foi repetido até que se observasse uma convergência significativa nas opiniões dos especialistas, indicando um consenso sobre os tópicos prioritários de FMC.

Delineada a problemática, referente a que tópicos da FMC poderiam/deveriam ser inseridos no ensino de Engenharia, os grupos respondentes foram constituídos de forma não aleatória, visto que procuramos uma correspondência com estudo de Ostermann (2000), conforme Tabela 1.

Quadro 1: Grupos respondentes (especialistas).

Grupos respondentes em Ostermann (2000)	Grupos respondentes desta pesquisa
Físicos profissionais em atividade em instituições nacionais de ensino e pesquisa.	Engenheiros atuantes em diferentes áreas
Professores de Física em atividade em escolas de ensino médio.	Professores de Engenharia em atividade em Instituições de Ensino Superior Públicas
Pesquisadores em ensino de Física em atividade em grupos de pesquisa e/ou programas de pós-graduação nessa área	Pesquisadores em ensino de Engenharia em atividade em grupos de pesquisa e/ou programas de pós-graduação

Para a seleção dos especialistas, pesquisadores em Ensino de Engenharia foram contactados por meio do endereço eletrônico disponibilizado em trabalhos da área de Educação/Ensino de Engenharia, principalmente nos Anais do Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE). Tozzi e Dutra (2013) destacam

o COBENGE como um importante fórum sobre educação em Engenharia no Brasil. Já referente ao grupo de professores de Engenharia, estes foram consultados por meio do endereço eletrônico divulgado por IES públicas com oferta de cursos de Engenharia, com recorte das instituições cujos pesquisadores participam do COBENGE, e com endereços eletrônicos também disponíveis publicamente. Em relação ao grupo dos engenheiros atuantes, estes foram contactados presencialmente; inicialmente foram buscados profissionais de diversas áreas da região do sul de Minas Gerais, região esta caracterizada como um polo nacional de pesquisa e desenvolvimento reconhecidamente ligados à FMC. O critério da busca presencial deste grupo foi definido a partir do índice de retorno das respostas, que é maior na pesquisa presencial face a face do que via internet (Calliyeris, 2012).

Após a definição dos grupos, as rodadas foram organizadas e associadas às tabulações descritas a seguir. Na primeira rodada: 1A - classificação de todas as respostas em áreas de conteúdos da Física, inclusive respostas pertinentes a situações ou recomendações relacionadas direta ou indiretamente ao Ensino em Engenharia; 1B - Divisão dos participantes em grupos de atuação computando-se a frequência das respostas de cada grupo em relação às áreas de conteúdo estabelecida; 1C - Análise discriminante para verificar a correlação de temas sugeridos por um grupo

com sua área de atuação; 1D - Tabulação da frequência de todas as respostas pelo total de respondentes; 1E - Tabulação dos tópicos mais mencionados pelos pesquisadores, professores e engenheiros.

Na segunda rodada: 2A - Realizada a tabulação da primeira rodada com os tópicos mais sugeridos pelo total de respondentes, envio do segundo questionário para os respondentes da primeira rodada a fim de se posicionarem frente aos tópicos por meio de uma escala de concordância; 2B - Análise discriminante para verificar a correlação de temas sugeridos por um grupo com sua área de atuação e, tabulação da frequência das respostas de cada grupo em relação às áreas de conteúdo estabelecidas; 2C - Tabulação da frequência de todas as respostas pelo total de respondentes.

Na terceira rodada: 3A - Realizada a tabulação da segunda rodada, envio para os respondentes da segunda rodada de duas tabelas (uma com a tabulação da segunda rodada e outra com uma cópia de sua resposta da rodada anterior) e um questionário para que os respondentes se posicionassem novamente frente aos tópicos por meio de uma escala numérica; 3B - Tabulação no número de respondentes do terceiro questionário por grupo; 3C - Tabulação da porcentagem das respostas para o total de respondentes após a revisão pelos sujeitos; 3D - Tabulação das respostas quanto ao posicionamento dos

respondentes em relação ao grau de prioridade de cada tema.

Resultados e Discussão

Para a organização deste exercício Delphi apresentaremos as discussões por rodadas, separadamente, para serem mais bem caracterizadas. Na primeira rodada, foi contatado o grupo de respondente por *e-mail*, enviando a apresentação da pesquisa juntamente com um *link* de acesso a um questionário elaborado, utilizando-se da ferramenta *Google docs*, conforme características dispostas na tabela 2.

Quadro 2: Quantitativo de e-mails enviados na primeira rodada e taxa de retorno.

Envio	Retorno
161 pesquisadores em Ensino de Engenharia	21 pesquisadores (13%)
202 professores de Engenharia em atividade em IES públicas	39 professores (19%)
15 engenheiros atuantes de diferentes áreas	14 engenheiros (93%)

Consideramos que o principal motivo da alta taxa de retorno das respostas dos engenheiros atuantes deve-se à coleta dos dados em formato presencial, ou seja, o questionário foi entregue e aguardou-se o retorno diretamente ao pesquisador. Nesta rodada, a taxa de retorno médio total foi de 20%. Comparando-se esse índice com o de Ostermann (2000), que na sua primeira rodada

teve 34%, consideramos a taxa de retorno deste estudo boa, principalmente pela maioria das consultas terem sido realizadas de forma remota e pelo perfil dos especialistas que compuseram este estudo.

A pergunta inicial relativa à definição da problemática ao exercício Delphi foi: “Quais tópicos da Física Moderna e Contemporânea (FMC) poderiam/deveriam ser ensinados nos cursos de engenharia?”. Cabe ressaltar que neste momento da primeira rodada não houve a preocupação em depurar os dados, mas sim de apresentá-los da forma como foram recebidos. Dessa forma, nesta fase, todas as respostas foram tabuladas, mesmo as minoritárias. Nesse sentido, mesmo tópicos como *Cinemática e Dinâmica* foram incluídos na tabulação, ainda que não se adequem a uma classificação diretamente ligada à FMC.

Neste estudo optamos por trabalhar com a frequência de respostas do total de respondentes agrupadas por área, conforme apresentada na Tabela 3.

Quadro 3: Frequência das respostas para o total de respondentes

Áreas	% Respostas	Freq.
Física Clássica	30%	55
Mecânica Quântica (MQ)	23%	51
Aplicações Tecnológicas	14%	20
Estrutura da matéria	10%	9
Física da Matéria Condensada	10%	18
Relatividade	9%	24
Astronomia e Astrofísica	2%	2
Mecânica Estatística e Termodinâmica	2%	2
Biofísica e Meio Ambiente	2%	1

De acordo com os dados da Tabela 3, a área que se destacou com maior frequência de

respostas é a da Física Clássica (30%), seguida por Mecânica Quântica (23%) e Aplicações Tecnológicas (14%). Esse resultado indica pouca clareza na demarcação conceitual e temática dos assuntos da FMC pelos respondentes. Esse resultado pode decorrer de fatores complexos, como a natureza da proposta dos conteúdos da Física nos cursos de Engenharia, a forte tendência de atuação dos engenheiros em áreas que não tratam deste ramo da Física, e de questões didáticas sobre o ensino da Engenharia etc.

Tais exemplificações indicam ainda parte de um ambiente complexo que demanda estudos no campo curricular, e que neste caso não permite espaços para conclusões simplistas ou imediatistas. Tal constatação se relaciona com pontos discutidos no já datado mas ainda atual, documento do Observatório da Inovação e Competitividade (OIC, 2011), principalmente no que se refere ao papel do engenheiro na sociedade frente às tendências de mudanças nos padrões de crescimento, das demandas de desenvolvimento sustentável e das solicitações correlatas de progresso econômico, da justiça social e de preservação do meio ambiente.

A segunda rodada deste estudo consistiu no envio de um *e-mail* em que foram dadas explicações sobre a sua continuidade, tendo anexo um *link* com um questionário pelo qual os respondentes pudessem se posicionar diante de cada um dos itens, através de uma escala de concordância com os tópicos, ou seja, se

concordavam, ou não, com sua inclusão (nos cursos de Engenharia). Na escala havia as seguintes opções (em relação ao fato de poder ser ensinado nos cursos): CT = Concordo totalmente, C = Concordo, NO = Não tenho opinião em relação a este item, D = Discordo, e DT = Discordo totalmente.

Cabe ressaltar, conforme instrução da técnica Delphi, que diferentemente da primeira rodada, os respondentes nesta etapa possuíam acesso aos tópicos de FMC mais citados anteriormente, e precisavam somente aferir um grau de concordância a respeito de cada tópico. O *e-mail* foi enviado para os 74 respondentes da primeira rodada, com o retorno de 34 deles, e cuja tabulação das respostas está disposta na Tabela 4.

A partir dos dados da Tabela 4 constatamos que os três temas com maior concordância foram: Semicondutor, Física do Estado Sólido e Supercondutores. Tais temas são centrais na FMC, com intrínseca relação com o desenvolvimento e funcionamento de aparatos tecnológicos da atualidade. É relevante indicar que apesar de somente 50% dos respondentes da primeira rodada terem respondido ao segundo questionário, nenhum deles justificou suas respostas ou realizou qualquer tipo de comentário adicional.

Outra constatação nesta investigação foi que as opções que envolviam a discordância, principalmente a opção “DT- discordo totalmente”, apresentaram uma porcentagem bem inferior às demais opções, relativas à

concordância. Isso pode indicar que os respondentes reconhecem a importância da inserção de tais temas no ensino de Engenharia, mas aponta também para a sua ausência neste nível de formação.

Quadro 4: Porcentagem das respostas para o total de respondentes da segunda rodada.

TEMAS	CT (%)	C (%)	NO (%)	D (%)	DT (%)
Semicondutor	69,4	19,4	8,3	2,8	0,0
Física Estado Sólido	61,1	25,0	8,3	5,6	0,0
Supercondutores	61,1	22,2	16,7	0,0	0,0
Efeito Fotoelétrico	55,6	27,8	13,9	2,8	0,0
Função de onda	47,2	41,7	8,3	2,8	0,0
Radiação Térmica	47,2	33,3	16,7	2,8	0,0
Introd. Mec. Quântica	41,7	44,4	5,6	5,6	2,8
Radioatividade	41,7	27,8	22,2	5,6	2,8
Física Atômica	41,7	36,1	11,1	11,1	0,0
Princípio da Incerteza	36,1	47,2	11,1	5,6	0,0
Partículas Elementares	30,6	41,7	19,4	8,3	0,0
Teoria da Relatividade	30,6	41,7	19,4	5,6	2,8
Origem do Universo	8,3	33,3	38,9	19,4	0,0

Os temas com menor grau de consenso entre os respondentes, ou seja, com a menor porcentagem dos participantes que assinalaram a opção “CT-concordo totalmente”, foram os tópicos: Partículas Elementares, Teoria da Relatividade e Origem do Universo. Ainda assim, cabe destacar que embora haja um limitado grau de consenso, quando analisamos a opção “DT- discordo totalmente”, há um baixo percentual de tais tópicos, indicando que não há total

discordância dos respondentes a respeito do ensino desses conteúdos na Engenharia.

Na terceira e última etapa, foram enviados *e-mails* para os 34 respondentes, com explicações específicas desta fase e acompanhado de um *link* para o terceiro questionário, que consistiu em uma tabela com as respostas da segunda rodada. A partir da cópia das respostas do segundo questionário, cada respondente poderia revisar suas posições através do *link* de acesso ao questionário da segunda rodada, e que incluía um campo para que o respondente justificasse e argumentasse caso sua resposta fosse divergente do consenso. Finalmente, um novo posicionamento foi solicitado em relação aos temas, atribuindo um *score* numérico do tipo *Likert*, em que cinco representava o grau de máxima atribuído ao tema para sua pretensa inclusão no ensino de Engenharia.

Dos 34 participantes que receberam o terceiro questionário, 23 responderam e poderiam revisar suas posições. Entretanto, nenhum deles revisou suas respostas. A partir dos resultados em relação ao grau de prioridade temática, foi possível organizar, na Tabela 5, a soma dos *scores* e a média obtida para cada tema, em ordem decrescente.

Como o *score* indica o grau de importância aferido para cada tema, os temas com a maior média dos *scores* aferidos pelos respondentes foram: Física do Estado Sólido, Semicondutor e Função de Onda. Inicialmente, observamos a concordância em

relação a dois temas da rodada anterior: Física do Estado Sólido e Semicondutor, sendo esse um dos objetivos da técnica Delphi. Inclusive, tais temas, além de se relacionarem com as tecnologias atuais, comportam discussões pertinentes para inserção no currículo dos cursos superiores, como de engenharias, principalmente por tais tópicos envolverem um consenso de especialistas da área do ensino de Engenharia.

Quadro 5: Tópicos em ordem decrescente de prioridade do 3º questionário.

TEMAS	SCORES	MÉDIA
Física do Estado Sólido	102	4,43
Semicondutor	100	4,35
Função de onda	93	4,04
Efeito fotoelétrico	92	4,00
Supercondutores	92	4,00
Radiação Térmica	87	3,78
Radioatividade	87	3,78
Partículas Elementares	83	3,61
Introdução à Mecânica Quântica	82	3,57
Princípio da Incerteza	82	3,57
Teoria da Relatividade	81	3,52
Física Atômica	81	3,52
Origem do Universo	64	2,78

Analisando-se a importância de tal consenso na área da educação, cabe ressaltar que essa questão não envolve apenas um dado quantitativo, mas também um processo qualitativo, pois os especialistas, ao longo da pesquisa, especificamente a partir da segunda rodada, têm a oportunidade de revisar suas respostas e argumentar defendendo suas

posições diante da resposta dos outros colegas, ou da tendência geral do grupo.

Relacionado a esse aspecto, se observa também a importância do anonimato, que permite evitar conflitos levando a respostas mais honestas e com menos vieses, bem como lidar com aspectos criativos de um problema complexo. Isso pode motivar o pensamento independente do respondente e a formação gradual de soluções do grupo em direção a uma possível tomada de decisão. A importância do consenso de especialistas de diferentes áreas, com diferentes experiências e que podem estar dispersos geograficamente, remete também ao fato de que o método Delphi pode ser usado tanto como uma ferramenta analítica quanto como um instrumento de pesquisa.

Cabe ressaltar que o *feedback* das informações recolhidas e a oportunidade para os especialistas modificarem ou aperfeiçoarem seus julgamentos é que distingue o método Delphi de um processo comum de sondagem de opinião (Marques; Freitas, 2018), pois:

O Delphi tem o potencial de construir reflexões muito ricas devido à sua facilidade de agregar, de forma anônima, especialistas dispersos e de permitir um diálogo refletido através das múltiplas rodadas com *feedback*. Outro aspecto a destacar está relacionado com a sua essência, uma vez que é um método de busca de consensos e construção de pontes. Numa área tão heterogênea como a Educação, em que tantos e tão distintos atores estão envolvidos na tomada de decisões e gestão de escolas, currículos, etc., muitas vezes com dificuldades de relações entre si, métodos que permitam ouvir os diferentes especialistas e refletir conjuntamente sobre os problemas e as características da Educação e o sistema de ensino e gerar consensos, têm um enorme potencial. Mas, pelo que apuramos, o Delphi está ainda

por ser explorado no Brasil (Marques; Freitas, 2018, p.409-410).

Na perspectiva do diálogo com a técnica Delphi, indicamos que esta tem o potencial de apontar caminhos de investigações para complexos desafios educacionais, como por exemplo, evasão escolar, dificuldades de aprendizagem, indisciplina, inclusão escolar, não progressão escolar, entre outros. Certamente tais desafios perpassam por políticas públicas que envolvem também a perspectiva curricular, inclusive sobre inovações curriculares pertinentes à escolha de tópicos e conteúdos a serem ensinados nas escolas e universidades, condizentes com o contexto e momento histórico de uma nação.

Em relação às respostas do segundo e terceiro questionários, destacamos os três primeiros tópicos/temas da Tabela 5: Física do Estado Sólido, Semicondutores e Função de Onda, com especial atenção ao tópico referente aos Semicondutores, pois, de forma mais ampla, a Física do Estado Sólido, em seu estudo e desenvolvimento sobre propriedades dos materiais, também engloba o estudo dos Semicondutores.

A Física do Estado Sólido é um ramo da Física da Matéria Condensada, e constitui-se como uma área dinâmica, que continua evoluindo à medida que novas descobertas são feitas, pois estuda as propriedades físicas dos sólidos, incluindo a compreensão e o comportamento dos átomos e moléculas que compõem os sólidos, bem como as interações entre eles. Ela desempenha um papel

fundamental no desenvolvimento de tecnologias modernas que, além dos semicondutores, também comportam os materiais magnéticos para dispositivos de armazenamento e muitas outras aplicações práticas, nas quais as ideias da FMC se fazem presentes. Alguns estudos atuais na Física do Estado sólido são: investigação na organização dos átomos em sólidos, muitas vezes em padrões repetitivos e tridimensionais chamados de redes cristalinas; estudo das propriedades mecânicas dos sólidos, como elasticidade, plasticidade e resistência; análise do comportamento térmico dos sólidos, incluindo condutividade térmica, expansão térmica e capacidade térmica; investigação das propriedades elétricas dos sólidos, incluindo condutividade elétrica, resistividade, semicondutores e supercondutividade; estudo do magnetismo em sólidos, incluindo materiais ferromagnéticos, antiferromagnéticos e ferrimagnéticos; compreensão de fenômenos quânticos como o efeito túnel, a condutividade quântica e a teoria de bandas, que descreve o comportamento eletrônico em sólidos; estudo das interações entre a luz e os sólidos, incluindo absorção, reflexão, refração e emissão de luz.

Sobre o tópico Função de Onda, destacamos o fator seminal que o conceito de onda tem na Física, inclusive, sendo esta uma das principais diferenças da Física Quântica em relação à Física Clássica, quando os

objetos quânticos passam a ser representados por densidades de probabilidade. Nesse sentido, a função de onda é fundamental na teoria quântica e representa uma descrição matemática do comportamento de uma partícula quântica, fornecendo informações sobre a probabilidade de encontrarmos uma partícula em diferentes posições e estados de energia. Em mecânica quântica, a equação de Schrödinger é usada para descrever a evolução temporal dessa função de onda (Novaes; Studart, 2016).

Já sobre Semicondutores, é importante lembrar que em cerca de 50 anos, a microeletrônica revolucionou o dia a dia das pessoas, desde quando J. Kilby, no final dos anos de 1950, nos laboratórios da Texas Instruments, propôs a construção de um circuito utilizando semicondutores e fabricado sobre um bloco de silício; criando assim o circuito integrado (CI) (Swart, 2015). Mas foi o desenvolvimento da Mecânica Quântica que propiciou a interpretação das propriedades observadas nesses materiais, de forma que os conhecimentos de suas propriedades contribuem para o desenvolvimento na área de comunicações, no processamento de dados e em diversos aparelhos eletrônicos.

Dessa forma, a relação entre o desenvolvimento de semicondutores e a autonomia tecnológica de uma nação é explícita. Mas essa questão é ampla e complexa, conforme discutido por Ibañez (2012):

Apesar dos esforços empreendidos, não só pelos governos federal e estadual, mas por todas as instituições e pesquisadores envolvidos com o tema da inovação tecnológica, o Brasil ainda apresenta sérios gargalos a serem resolvidos. Se houve, de um lado, a consolidação e financiamentos e políticas à inovação cada vez mais sólidos, por outro, os resultados esperados, ou seja, o aumento da capacidade inovativa, assim como a diminuição da dependência de tecnologias importadas, não tem sido observado, sobretudo quando analisamos a pauta de exportação brasileira em relação à intensidade tecnológica (Ibañez, 2012, p. 211).

Com pandemia de Covid-19, quase dez anos após as indicações de Ibañez, foram escancarados os gargalos mundiais em relação aos semicondutores, e como recorda Andrade (2023), diversos fabricantes, como os de *smartphones*, televisores, carros, geladeiras e aviões, foram duramente afetados pela interrupção das cadeias de produção desses elementos-base, e desde então, muitos países vêm investindo em medidas para diminuir sua dependência das cadeias de suprimento externas. Por exemplo, em fevereiro de 2022, conforme anúncio nas mídias especializadas, a Comissão Europeia anunciou um aporte de US\$ 47 bilhões em sua indústria de semicondutores; em agosto de 2022, os EUA sancionaram um projeto que destinará mais de US\$ 200 bilhões nos próximos cinco anos à pesquisa, ao desenvolvimento e à fabricação de semicondutores; já a China pretende continuar investindo em torno de US\$ 1,4 trilhão nos próximos cinco anos na fabricação de chips, na expectativa de conseguir dominar o setor de semicondutores no mundo. O Brasil, no entanto, enfrenta dificuldades para se consolidar nesse setor, pois ainda depende muito da importação

desses componentes para atender sua demanda interna. A título de exemplificação, segundo informações do Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), em 2021, o consumo de semicondutores no Brasil foi da ordem de US\$ 11 bilhões, mas apenas 8% dessa demanda foi atendida por fabricantes nacionais.

Considerações finais

Este trabalho envolveu três rodadas de um estudo Delphi junto a professores de Engenharia, engenheiros atuantes e pesquisadores do Ensino em Engenharia e seu resultado convergiu para os seguintes temas: Física do Estado Sólido, Semicondutores e Função de Onda. A correlação teórico-metodológica deste trabalho com o de Ostermann (2000) é de grande proximidade, sendo que após a sua terceira rodada, aquele trabalho apresentou os seguintes tópicos com maior grau de concordância: Átomo de Bohr, Efeito Fotoelétrico, Laser, Leis de Conservação, Metais e Isolantes, Origem do Universo, Radioatividade, Raios X e Supercondutores.

Entretanto, convém destacar que, embora este trabalho esteja numa área com pressupostos educacionais distintos, a proximidade com o estudo de Ostermann (2000) se mantém, naturalmente porque o estudante passa obrigatoriamente pelo nível médio antes de ingressar no nível superior, de

forma que os conteúdos trabalhados nesta primeira etapa básica influenciarão na formação posterior. Mas diferentemente da educação básica, entendemos que em uma formação específica, como nas Engenharias, envolve outros contextos, e com isso justificamos o fato de os resultados não serem os mesmos de Ostermann (2000).

A partir da análise proposta, observamos que os resultados não estão restritos a um levantamento numérico de tópicos da FMC a serem oportunizados na formação em Engenharia, pois esses resultados perpassam questões de natureza curricular, política e econômica, pertinentes ao ensino da Engenharia no Brasil, e que merecem atenção e investigativas específicas.

Relativamente à questão do ensino na Engenharia enfatizamos as implicações que o desenvolvimento de tecnologias modernas possui em relação à economia e a política de uma nação, no sentido de demandar investimentos em prol do desenvolvimento sustentável de uma sociedade, e visando a sua autonomia tecnológica. Isso indica, inclusive, a centralidade da dimensão formativa do engenheiro, quanto à curricularização de conteúdos que potencializam a criação e o desenvolvimento de novas tecnologias, e que trazem em seu processo descobertas, desenvolvimento e funcionamento conteúdos relacionados à FMC.

À guisa de conclusão, seria importante que outras investigações desses temas possam

avançar em cenários mais específicos, como em um determinado curso de Engenharia, ou de uma inserção temática na estrutura curricular. Por fim, chamamos atenção para o potencial do método *Delphi*, que se revelou uma importante ferramenta – conforme já apontado em outros estudos, como de Green (2014), Stitt-Gohdes e Crews (2004), e Sivalingam (2020) – não apenas para identificação dos tópicos da FMC, mas também para abrir um espaço de diálogo entre diferentes grupos de especialistas.

Referências

- ALMEIDA, J.G.; PEIXOTO, P.; ALBUQUERQUE, C.P. Potencialidades do software na procura de consensos no ensino superior em contexto pandêmico: o método Delphi. *Revista Portuguesa de Investigação Comportamental e Social*, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2022.
- ANDRADE, R. Países se articulam para diminuir dependência das cadeias globais de suprimento de chips. IPEA/Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade. 07 jun. 2023. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/348-paises-se-articulam-para-diminuir-dependencia-das-cadeias-de-suprimento-globais-de-semicondutores>>.
- ANTUNES, M. M. Técnica Delphi: metodologia para pesquisas em educação no Brasil. *Revista de Educação PUC-Campinas*, v. 19, n. 1, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.puc-campinas.edu.br/reeducacao/article/view/2616>>.
- ARENGLI, L. E. B.; SILVA, J. N.; LINO, A. Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 6, n. 1, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1170>>.
- BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Resolução CNE/CES 2, de 24 de abril de 2019. *Diário Oficial da União, Brasília*, 26 abr.2019. Seção 1, p. 43-44.
- BROCKINGTON, G. A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para alunos do Ensino Médio. 2005. 253 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). IF/FE-USP, São Paulo, 2005.
- CALLIYERIS, V.E. Métodos de coleta de dados: análise comparativa dos perfis dos respondentes e dos resultados obtidos via internet e via presencial face a face. 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado em Administração). PUC, São Paulo, 2012.
- CORRÊA, H.L.; CUNHA, J.C.; MUNARETTO. Um estudo sobre as características do método Delphi e de grupo focal, como técnicas na obtenção de dados em pesquisas exploratórias. *Revista de Administração da UFSM*, v. 6, n. 1, p. 9-24, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/download/6243/pdf/41467>>.

GOULART, G. S.; LEONEL, A. A. Revisão da literatura sobre o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio sob a ótica da TAS: Problemáticas emergentes a partir de eventos brasileiros de ensino de Física. *Revista Dynamis*, v. 28, n.1, p.131-251, 2022.

GREEN, R. A. The Delphi Technique in Educational Research. *Sage Open*, vol. 4 n.2. 2014. Disponível em <<https://doi.org/10.1177/2158244014529773>>

IBAÑEZ, P. Geopolítica e Inovação Tecnológica: Uma análise da Subvenção Econômica e das Políticas de inovação para a Saúde, 2012. 245f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Geografia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo

JANUÁRIO, M. D. A.; HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T. Tendências atuais sobre o Ensino de Física Moderna: uma revisão de literatura. *Revista Educar Mais*, vol. 8, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.15536/reducarmais.8.2024.3668>>

LEMES, T. C.; REZENDE JUNIOR, M. F. A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia do Brasil: cenário atual e perspectivas. *Revista de Ensino de Engenharia*, Brasília, v. 30, n. 2, p. 24-34, 2011. Disponível em: <<http://revista.educacao.ws/revista/index.php/abenge/article/view/100>>.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas. 2. Ed. Rio de janeiro: Gen, 2018.

LIMA, S. F.; NUNES, E. C.; DE SOUZA, R. F. O método Delphi e a validação de pesquisa na Educação: um estudo com professores de ciências dos anos iniciais atuantes em salas multisseriadas na Amazônia. *Complexitas – Revista de Filosofia Temática*, [S.l.], v. 4, n. 1, p. 50-56, jan. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/complexitas/article/view/8165>>.

LINSTONE, A. H.; TUROFF, M. The Delphi Method: Techniques and Applications. 2002. Disponível em: <https://www foresight.pl/assets/downloads/publications/Turoff_Linstone.pdf>.

MCKAGAN, S. B.; PERKINS, K. K.; WIEMAN, C. E. Reforming a large lecture modern physics course for engineering majors using a PER-based design. *Proceedings: Physics Education Research Conference*, Nova Iorque: 2006. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/physics/0608239>>.

MANINI, V. S. A.; DIAS, H. Iniciativas na construção de um novo modelo para o ensino de Física em engenharia na Escola Politécnica da USP e na Faculdade de Engenharia da FSA. *Anais XXXIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, Passo Fundo: ABENGE, 2006, p. 12.1-12.10. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/13/artigos/12_56_787.pdf>.

MARQUES, J.B.V.; FREITAS, D. Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. *Pro-posições*, v.29, n. 2 (87), p. 389-415, 2018.

MARQUES, T. C. F.; MARTINS, T. C.; NOVAIS, A. L. F.; GOMES, L. M.; PASCOAL, C. M. M.; FERNANDES, C. S.; FERRERIA, F. C. L. Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. *Scientia Plena*, 15(7), 2019. Disponível em <<https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.074809>>

NIÑO, J. V.; HERRERA, W. J.; GOMÉZ, S. Acerca de la enseñanza de la física en las carreras de ingeniería. *Revista Colombiana de Física*, v. 38, n. 4, p. 1419-1422, 2006. Disponível em: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2153195>>

NOVAES, M.; STUDART, N. Mecânica Quântica Básica. São Paulo: Livraria da Física, 2016. Disponível em: <https://physika.info/site/srozane/Quimica/Mecanica_quantica_basica.pdf>.

OBSERVATÓRIO DA INOVAÇÃO E COMPETITIVIDADE (OIC), Tendências e Perspectivas da Engenharia no Brasil, 2011. *EngenhariaData (Relatório)*. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/pesquisa/nucleos-de-apoio-a-pesquisa/observatorio-inovacao-competitividade/publicacoes/online/engenhariadata-tendencias-e-perspectivas-da-engenharia-no-brasil-relatorio-2011/view>>.

OLIVEIRA, S. S. Implicações da não abordagem da Física Moderna e Contemporânea no Ensino em Engenharia. *Revista Brasileira de Física*, 1 (2), 2021. Disponível em: <[10.5281/zenodo.5707559](https://zenodo.org/record/5707559)>

OSTERMANN, F. Tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de Física. 433f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 23–48, 2016. Disponível em: <<https://ienci.ufpr.br/index.php/ienci/article/view/600>>.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/janeiro2013/fisica_artigos/sobreoensinodefisicamoderna.pdf>.

PERFOLL, A. P.; REZENDE JR, M.F. A Física Moderna e Contemporânea e o Ensino de Engenharia: contexto e perspectivas. *Anais XXXIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, Passo Fundo: ABENGE, 2006. Disponível em: <https://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/13/artigos/11_97_581.pdf>.

REZENDE JR, M.F.; SOUZA CRUZ, F.F. Física Moderna e contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. *Ciência & Educação*, vol. 15 n. 2, 2009. Disponível em <<http://www.scielo.br/j/ciedu/a/SXjTH5hTJTcVQSrKXNm57b/?lang=pt>>

SILVA, A.C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Física Quântica no Ensino Médio: o que dizem as pesquisas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 3, p. 624-652, dez. 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/22296>>.

SILVA, I. R. R.; Explorando as diferentes telas de TV: uma proposta de inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Ensino Ciências e Matemática da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

SILVALINGAM, A. D. A Research Study by Delphi Technique in School Counseling. *Test Engineering and Management* Vol. 82, 2020. Disponível em <<https://ssrn.com/abstract=3574362>>.

SIQUEIRA, M. Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio. 2006. 156 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). IF/FE-USP, São Paulo, 2006.

SOUZA, A. P. G. A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de Engenharia e na indústria. 2014. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/128870?show=full>>

SOUZA, A. P. G.; CUSTÓDIO, J.F.; REZENDE JUNIOR, M.F. A Física Moderna e Contemporânea na formação de engenheiros: a análise das estruturas curriculares de duas instituições. *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista*. Vol. 8, n. 3, p.97-111, set./dez. 2018.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA - SBF. Física para o Brasil: pensando o futuro. São Paulo: Livraria da Física, 2005. 248p. STITT-GOHDES, W. L.; CREWS, T. B. The Delphi technique: A

research strategy for career and technical education. *Journal of career and technical education*, v. 20, n. 2, p. 55-67, 2004.

SWART, J.W. *Evolução de Microeletrônica a Microssistemas*. 2015. Disponível em: <<http://www.ccs.unicamp.br/cursos/ee941/download/cap01.pdf>>

TOZZI, M. J; DUTRA, S.C. O Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia- COBENGE. *Revista de Ensino de Engenharia* Vol. 32,

n. 3, p.25-36, 2013.

VELOSO, J. C.; SOUSA, M. V. S.; MACÊDO, H. R. A. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio: uma breve revisão bibliográfica. *EDUCA - Revista Multidisciplinar em Educação*, [S. l.], v. 9, p. 1-27, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.unir.br/index.php/EDUCA/article/view/6151>>.