



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA



ANA PAULA GRIMES DE SOUZA

**A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NOS CURSOS DE
ENGENHARIA E NA INDÚSTRIA: CONCEPÇÕES DE
FORMADORES E DE ENGENHEIROS EM ATUAÇÃO**

Florianópolis

2014

ANA PAULA GRIMES DE SOUZA

**A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NOS CURSOS DE
ENGENHARIA E NA INDÚSTRIA: CONCEPÇÕES DE
FORMADORES E DE ENGENHEIROS EM ATUAÇÃO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, para a obtenção do Grau de Mestre em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco Custódio Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Mikael F. Rezende Junior

Florianópolis

2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Souza , Ana Paula Grimes de

A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia e na indústria: concepções de formadores e de engenheiros em atuação / Ana Paula Grimes de Souza ; orientador, José Francisco Custódio Filho ; coorientador, Mikael Frank Rezende Junior. - Florianópolis, SC, 2014.
194 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas.
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Inclui referências

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Física Moderna e Contemporânea. 3. Educação em Engenharia . I. Custódio Filho, José Francisco . II. Frank Rezende Junior, Mikael. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. IV. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

“A Física Moderna e contemporânea nos Cursos de Engenharia e na Indústria: Concepções de Formadores e de Engenheiros em Atuação”

Dissertação submetida ao Colegiado do Curso de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica em cumprimento parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 27 de março do 2014

José Francisco Custódio Filho (Orientador - PPGECT/UFSC)

Mikael Frank Rezende Junior (Co-orientador - ICE/UNIFEI)

Ivani Teresinha Lawal (Examinadora - CCT/UDESC)

Tatiana da Silva (Examinadora - CFM/UFSC)

Frederico Firmo de Souza Cruz (Examinador - CFM/UFSC)

Paulo José Sena dos Santos (Suplente - CFM/UFSC)

Carlos Alberto Marques
Coordenador do PPGECT

Ana Paula Grimes de Souza
Florianópolis, Santa Catarina, 2014.

AGRADECIMENTOS

Como não poderia ser diferente, agradeço primeiramente a Deus, que me deu força, saúde, sabedoria e que, a cada manhã, renovou minha fé para concluir esta caminhada.

Agradeço imensamente aos meus pais, Pedro e Nelita, pela eterna preocupação e pelo incansável apoio. Com toda certeza, sem vocês ao meu lado, essa jornada seria muito mais difícil e dolorosa.

Ao prof. José Francisco Custódio Filho, meus sinceros agradecimentos, por ter me escolhido e me proporcionado esta caminhada como sua orientanda. Obrigada por ouvir minhas angústias e, por vezes, meus desesperos, e por me acalmar nesses momentos. Obrigada pelas palavras de apoio e por me ajudar a concluir esta etapa.

Ao prof. Mikael Frank Rezende Junior, meu coorientador, agradeço por nossas conversas e por todo seu empenho em me auxiliar na coleta de dados. Sua ajuda foi essencial para que eu conseguisse concluir este trabalho.

Aos professores do PPGECT, em especial José André Peres Angotti, Vivian Leyser da Rosa, Rejane Maria Ghisolfi da Silva, Carlos Alberto Marques, Tatiana da Silva e José de Pinho Alves Filho, pelas discussões, pela troca de conhecimentos e pelo crescimento que as disciplinas por eles ministradas me proporcionaram.

Ao prof. Frederico Firmo de Souza Cruz, pelas suas valiosas contribuições na banca de análise do projeto, assim como ao prof. Nival Nunes de Almeida, que, mesmo a distância, também colaborou nesta etapa da pesquisa.

Não posso esquecer de agradecer aos professores que tive durante minha vida acadêmica, que me inspiraram e me incentivaram a estar aqui neste momento. Em especial ao prof. Luiz Clement e à prof.^a Ivani Lawall, pelas aulas ministradas e pelas orientações em bolsas de extensão, monitoria e pesquisa. Com certeza, o trabalho desempenhado por vocês chamou a minha atenção para esse universo.

Aos meus colegas da turma de mestrado 2012, agradeço por toda experiência trocada e pelas risadas e angústias compartilhadas. À Liliane, em especial, que esteve muito próxima durante grande parte desse período. Dividimos, além de nossa casa, alegrias, risadas, angústias, indignações e realizações. Agradeço também à Iasmine, querida amiga que o Mestrado me proporcionou. Não posso deixar de citar Fernando, Adriano, Léo, Suelen, Régis e Ani: nossos momentos

juntos serão para sempre lembrados. Aos irmãos de orientação, Gabriela e Bruno, agradeço pelo apoio antes e durante o curso.

Agradeço aos sujeitos de pesquisa, aos engenheiros e aos formadores, que fugiram um pouquinho da sua rotina dentro de uma indústria ou mesmo na universidade, dedicando uma parcela do seu tempo para participar das entrevistas. Obrigada por aceitarem participar da pesquisa, pois sem vocês também não seria possível a concretização desta dissertação.

Agradeço a CAPES pelo auxílio financeiro, o que tornou possível minha dedicação integral à pesquisa.

Por fim, agradeço imensamente a você, Bruno, por ser meu companheiro nesta jornada. Agradeço o carinho, o amor, a compreensão e o apoio. Obrigada por dividir sonhos comigo.

Obrigada a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta importante etapa da minha caminhada.

"Procurar compreender as leis da natureza é
procurar compreender a obra de Deus, portanto
aproximar-se Dele". Tomás de Aquino

RESUMO

Esta pesquisa tem o intuito de contribuir com a formação inicial de engenheiros, em especial com a formação em Física desses profissionais, aspecto pouco debatido na literatura de Educação em Engenharia. Nos atemos, no entanto, aos conhecimentos da Física construídos a partir do início do século XX, os quais são denominados de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Visto, por um lado, a grande contribuição desses conhecimentos para o desenvolvimento tecnológico atual e, por outro, o pouco aparecimento desses conhecimentos no currículo dos cursos de Engenharia no Brasil, enxergamos a necessidade de investigar qual a importância da FMC para o engenheiro em nosso País, visando suas possibilidades de atuação no mercado de trabalho e o cenário tecnológico e industrial nacional. Para tanto, optamos por entrevistar engenheiros que atuam em indústrias e formadores dos cursos de Engenharia a fim de identificar suas concepções sobre o tema. A partir de uma pesquisa de natureza qualitativa e utilizando de análise documental e de entrevistas semiestruturadas, a investigação se deu: pela construção do referencial teórico; pela análise do currículo de 23 cursos de engenharia, sendo 12 destes da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e 11 da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI); pelas entrevistas com oito engenheiros, quatro egressos da UFSC e quatro egressos da UNIFEI; além de entrevistas com dez formadores, cinco da UFSC e cinco da UNIFEI. Devido ao limite de tempo da pesquisa, escolhemos para a investigação apenas engenheiros e formadores de três modalidades que, a nosso ver, estão mais próximas desses conhecimentos: Elétrica, Eletrônica e Materiais. Os resultados apontam opiniões distintas entre os profissionais. Os formadores, em geral, enxergam a importância desses conteúdos para a formação dos engenheiros, especialmente os formadores das modalidades Eletrônica e Materiais. Para os engenheiros que atuam em indústrias, há uma grande distância entre a FMC e o mercado de trabalho. Os principais motivos levantados pelos entrevistados que distanciam a FMC da formação e atuação dos engenheiros são os seguintes: perfil do profissional engenheiro – o

profissional, hoje, é mais valorizado e procurado pelas suas habilidades comportamentais e pela capacidade de administração e gerência do que pela sua formação em disciplinas como a Física; desenvolvimento tecnológico – o Brasil não é um país com tradição no desenvolvimento tecnológico, mas sim com um foco maior na compra e adaptação de tecnologias do exterior (grande parte dos entrevistados só vê a necessidade de conteúdos de FMC se o profissional for atuar na área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), no entanto, este é um setor escasso no País); a FMC na atuação de engenheiros – segundos os entrevistados, a FMC não aparece com frequência na atuação de engenheiros, pois estes estão mais preocupados com outros problemas no seu trabalho, como questões técnicas, administrativas e em como adaptar tecnologias e desenvolver outros produtos e inovações utilizando tecnologias já prontas, ou seja, processos que são tão importantes quanto o desenvolvimento de base em si, mas que, na visão dos entrevistados, não necessitam de conhecimentos de FMC.

Palavras-chave: Educação em Engenharia. Ensino de Física. Física Moderna e Contemporânea.

ABSTRACT

This research aims to contribute to initial formation of engineers, specially to their formation in Physic, an aspect which is poorly debated in Engineering Education literature. However, we focused on the Physical knowledge constructed from the beginning of the XX century, namely the Modern and Contemporary Physic (FMC, in Portuguese). It is seen the great contribution of this knowledge to the current technological development and also the little presence of this knowledge in syllabi of Engineering courses in Brazil, then it is necessary to investigate what is the importance of FMC to the engineer in our country, considering its possibilities of actuation at work and in the national technological-industrial scenario. Therefore, we chose to interview engineers who work in industries and trainers from engineering courses in order to identify their conceptions about the theme. From a qualitative nature research and by the use of bibliographic research, documental analysis and semi-structured interviews, the research in general followed: the construction of a theoretical benchmark; curricular analyses of twenty-three engineering courses, twelve from Universidade Federal de Santa Catarina (Federal University of Santa Catarina – UFSC, in Portuguese) and eleven from Universidade Federal de Itajubá (Federal University of Itajubá – UNIFEI, in Portuguese); interviews with eight engineers, four graduated at UFSC and four graduated at UNIFEI; finally, interviews with ten trainers, five from UFSC and other five From UNIFEI. Due to the time-limited research, we chose to investigate only the engineers and trainers of three types of engineering which, for us, are closest to the FMC knowledge: Electrical, Electronic and Material Engineering. The results point different opinions among the professionals. The trainers generally view the importance of these contents to the engineer's formation, especially the ones from Electronic and Material Engineering. To the engineers themselves, who work in industries, there is a big gap between FMC and labor market – just three of the interviewed professionals saw, somehow, this knowledge in their activity. The main reasons raised by

the interviewees who set apart the FMC from formation and actuation of the engineers are: engineer's professional profile – nowadays the professional is worthier and more sought by the behavioral skills and by the capacity to administrate and to manager, rather than by the formation in subjects like Physic; technological development – Brazil is not a country with tradition in technological development, focusing more on the buy and adaptation of foreign technologies (the major part of the interviewed only sees the need for FMC content if the professional is going to work in the Research and Innovation area (P&D, in Portuguese), though this is a rare field in this Nation); the FMC in the engineers' practice – according to the interviewees the FMC does not appear often in the engineers' actuation, because they are more concerned about other problems in their works, like technical and managerial issues and how to adapt technologies and to design products and innovation from ready technologies, i.e., processes that are as important as the basic development itself, but that do not need FMC knowledge in the respondents' views.

Keywords: Engineering Education. Physic Teaching. Modern and Contemporary Physic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Três arranjos possíveis para bandas de energia em um sólido.....	39
Figura 1.2: Imagem obtida por microscopia de tunelamento de 51 átomos de ouro.....	43
Figura 2.3: Enfoques na formação do engenheiro.....	61
Figura 3.1: Mapa de Santa Catarina, destacando o Município de Florianópolis.....	94
Figura 3.2: Mapa de Minas Gerais, destacando o Município de Itajubá.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Trabalhos sobre FMC.....	73
Tabela 3.1: Egressos da UFSC participantes da pesquisa.....	92
Tabela 3.2: Egressos da UNIFEI participantes da pesquisa.....	93
Tabela 3.3: Formadores da UFSC participantes da pesquisa.....	95
Tabela 3.4: Formadores da UNIFEI participantes da pesquisa.....	97
Tabela 4.1: Detecção de FMC no currículo dos cursos de engenharia da UFSC.....	105
Tabela 4.2: Porcentagem de FMC nos cursos de engenharia da UFSC.....	105
Tabela 4.3: Detecção de FMC no currículo dos cursos de engenharia da UFSC.....	110
Tabela 4.4: Detecção de FMC no currículo dos cursos de engenharia da UNIFEI.....	111
Tabela 4.5: Comparação entre a CH de FMC nos cursos de engenharia da UFSC e UNIFEI.....	112
Tabela 5.1: Unidades de significado e categorias de análise 1.....	118
Tabela 6.1: Unidades de significado e categorias de análise 2.....	143

LISTA DE SIGLAS

ABENGE – Associação Brasileira de Ensino de Engenharia
ATD – Análise Textual Discursiva
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CERN - Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear
CH – Carga Horária
CI - Circuito Integrado
COBENGE – Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia
CTC – Centro Tecnológico
CTS – Ciência Tecnologia e Sociedade
DCNE - Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de Graduação em Engenharia
FMC – Física Moderna e Contemporânea
FSA – Fundação Santo André
FEI – Faculdade de Engenharia Industrial
FQ – Física Quântica
GPS – Sistema de Posicionamento Global
H/A – Hora-aula
IES- Instituição de Ensino Superior
INPG - Institut National Polytechnique de Grenoble
LED – Diodo Emissor de Luz
MQ – Mecânica Quântica
PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+ - Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
PCSC – Proposta Curricular de Santa Catarina
P&D – Pesquisa e Desenvolvimento
RR – Relatividade Restrita
SBF – Sociedade Brasileira de Física
SBPC – Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá
EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
USP – Universidade de São Paulo
UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	23
1. A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA.....	31
1.1 Um breve histórico.....	31
1.2 Implicações tecnológicas.....	38
1.2.1 Semicondutores e a indústria da microeletrônica.....	38
1.2.2 Nanociência e nanotecnologia.....	42
1.3 Incentivos do Governo Brasileiro.....	44
1.4 A FMC na Educação Básica.....	48
2. O PROFISSIONAL ENGENHEIRO E SUA FORMAÇÃO.....	55
2.1 O perfil de formação do engenheiro.....	57
2.1.1 O que dizem as DCNCE.....	58
2.1.2 Uma formação de múltiplos enfoques.....	60
2.2 Funções de um engenheiro.....	66
2.3 Currículo dos cursos de graduação em Engenharia.....	67
2.4 A Física na formação do engenheiro.....	69
2.4.1 O Ensino da Física Moderna e Contemporânea nas Engenharias.....	73
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	87
3.1 Caracterizando a pesquisa.....	87
3.1.1 Análise documental.....	88
3.1.2 Entrevista semiestruturada.....	89
3.1.3 Questionários e entrevistas piloto.....	89
3.2 Amostras.....	90
3.2.1 Empresas.....	91
3.2.2 Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico (CTC).....	94
3.2.3 Universidade Federal de Itajubá.....	95
3.3 A análise textual discursiva como instrumento analítico.....	97
4. ANÁLISE DE CURRÍCULOS DE ENGENHARIA: DETECTANDO A PRESENÇA DA FMC.....	103
4.1 Cursos de Engenharia da UFSC.....	104
4.2 Cursos de Engenharia da UNIFEI.....	109

5. COM A PALAVRA, OS ENGENHEIROS.....	117
5.1 Perfil do profissional engenheiro.....	118
5.2 Formação em relação aos conteúdos de Física.....	126
5.3 A Física na atuação profissional do engenheiro.....	134
6. COM A PALAVRA, OS FORMADORES.....	143
6.1 Perfil do profissional engenheiro.....	144
6.2 A FMC na formação e atuação dos profissionais engenheiros.....	154
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	171
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179
ANEXO 1 – Roteiro de entrevista com engenheiros.....	189
ANEXO 2 – Roteiro de entrevista com formadores.....	191
ANEXO 3 – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	193

INTRODUÇÃO

Durante a minha trajetória no curso de Licenciatura em Física e participação em projeto de iniciação científica, o Ensino de FMC tanto na Educação Básica quanto nos cursos de Licenciatura despertou o meu interesse e me instigou a pesquisar cada vez mais sobre esse tema. A partir da década de 1990, muitas pesquisas como a de Terrazan (1992), Ostermann e Moreira (2000), Brockington (2005), Pietrocola (2005), Siqueira (2006), Souza e Lawall (2011) têm mostrado tanto a importância de se ensinar esses conteúdos para os alunos da Educação Básica quanto as dificuldades encontradas pelos professores para que isso efetivamente aconteça. Ao chegar ao Mestrado, o interesse pelo ensino da FMC permaneceu, no entanto, sob outro olhar. Deixando de lado um pouco o foco que as pesquisas sobre o tema têm mostrado na formação de professores e no Ensino Médio, optamos por um novo caminho até então pouco explorado pelos pesquisadores, o qual se preocupa em investigar a importância desses conteúdos para a formação do engenheiro e para sua prática profissional.

O interesse pela pesquisa deu-se por meio de leituras que relatam o quanto os conhecimentos da FMC são importantes para o desenvolvimento de uma gama de tecnologias que conhecemos hoje. Uma vez que engenheiros são, direta ou indiretamente, agentes de inovação científica e tecnológica, pesquisas como as de Manini e Dias (2006), Cunha et al. (2008), Lemes e Rezende Junior (2011) têm apontado a necessidade de formar um profissional engenheiro com um perfil capaz de acompanhar tais inovações tecnológicas: não somente apto a utilizá-las, mas também capaz de desenvolvê-las e compreendê-las em seu processo de produção e funcionamento.

Investigar esse contexto de tecnologias torna-se importante, pois, ao olharmos a nossa volta, percebemos o quanto a sociedade moderna é dependente dos seus frutos. Desde a primeira revolução científica, a tecnologia é um importante componente e poderoso motor da cultura. Avanços na medicina, por meio de tomografias ou diferentes formas de diagnóstico; na agricultura, nas novas formas de conservação de alimentos com o uso das radiações; na área das comunicações, com microcomputadores, CDs, DVDs, telefonia celular, TV a cabo; ou, ainda, na biologia, com a importância dos aspectos econômicos envolvidos na manipulação genética, em particular, o problema das

patentes biológicas e exploração comercial das descobertas das tecnologias do DNA. Todos esses exemplos são apenas uma pequena parcela do desenvolvimento tecnológico contemporâneo (RICARDO; CUSTÓDIO; REZENDE JUNIOR, 2007). Muito do que essas evoluções da ciência e da tecnologia têm proporcionado nos facilita a vida, economiza o tempo, protege nossa saúde, entre outros benefícios (BAZZO; PEREIRA, 2006).

Em meio a esse contexto de tecnologias, destaca-se a importância da Engenharia ao longo da história da humanidade. Para Bazzo e Pereira (2006), ela sempre esteve presente em praticamente todos os momentos dessa trajetória. No entanto, para que os engenheiros sejam capazes de continuar atuando e cumprindo as exigências da sociedade atual, compreendemos que é necessária uma boa formação, que acompanhe o desenvolvimento científico e tecnológico contemporâneo. Tal conhecimento torna-se necessário não somente para o desenvolvimento de novas tecnologias, mas também para que esse profissional possa tomar decisões conscientes, considerando as implicações sociais, ambientais, econômicas e políticas do desenvolvimento tecnológico atual.

Estando por trás de vários desenvolvimentos tecnológicos do último século – como os semicondutores e transistores (e suas implicações na indústria da microeletrônica), as possibilidades de utilização da energia nuclear e demais aplicações da radioatividade, as nanotecnologias, entre outros exemplos – a FMC se apresenta como conhecimentos importantes na formação de profissionais que estejam preocupados tanto em desenvolver tecnologias quanto em entender e refletir sobre todas as implicações que estas possam oferecer.

Esse desenvolvimento tecnológico, além de influenciar o modo de vida de muitas pessoas, reflete também na economia dos países que as desenvolvem. Um exemplo disso são os Estados Unidos, os quais no início do século já contavam com 30% do seu PIB relacionado diretamente com as tecnologias decorrentes da FMC, em especial da Física Quântica (FQ) (SBF, 2005). Além disso, o mercado mundial de semicondutores, por exemplo, no ano de 2010, foi estimado em de 300 bilhões de dólares (SBPC, 2011), e estima-se que até 2015 os bens e serviços de base nanotecnológica deverão ultrapassar um trilhão de dólares anuais (SBF, 2005).

Apesar da relação entre a FMC e as tecnologias, esses elementos da Física estão presentes de forma discreta nos cursos

voltados a áreas tecnológicas, como no caso das engenharias, em que essa ausência poderá limitar a formação tecnológica das bases teóricas e dos desenvolvimentos decorrentes (LEMES; REZENDE JUNIOR, 2011). A preocupação com essa aparente defasagem no Ensino de Engenharia tem chamado a atenção de alguns pesquisadores nos últimos anos. Algumas pesquisas, como as de Manini e Dias (2006), Mckagan, Perkins e Wieman (2006), Niño, Herrera e Gómez (2006), Perfol e Rezende Junior (2006), Cunha et al. (2008) e Lemes, Rezende Junior e Chiarello (2009) advogam acerca da necessidade de implantação e ampliação da presença da FMC de maneira efetiva e formativa nos cursos de Engenharia no País.

O estudo realizado por Lemes e Rezende Junior (2011) apresenta uma análise do currículo de 520 cursos de Engenharia do Brasil. Os resultados, obtidos por meio de uma análise estatística, mostram que, em média, 0,9% de toda a carga horária (CH) dos cursos de engenharia é destinada aos conteúdos de FMC. Para os autores, essa porcentagem retrata que tal abordagem ainda é, na maioria dos casos, apenas introdutória e/ou informativa e simplesmente focada no levantamento histórico do grande avanço científico e tecnológico do século XX, o que a torna insuficiente para a formação dos profissionais. Desse modo, os autores apontam que os conteúdos formativos em Física tratados nos cursos de Engenharia parecem estar aquém das reais necessidades dos futuros profissionais, principalmente quando se coloca em foco a falta de sintonia com os progressos científicos atuais, necessários para o conhecimento e desenvolvimento de tecnologias e empregados no exercício da Engenharia.

Em meio a esse contexto, propomos um estudo que visa entender o que engenheiros que atuam na indústria e formadores dos cursos de Engenharia pensam em relação à importância dos conhecimentos da FMC para a formação e atuação do profissional engenheiro, partindo do seguinte problema de pesquisa: **Qual a importância da Física Moderna e Contemporânea na formação e atuação de engenheiros, segundo a concepção de formadores e engenheiros que atuam em indústrias?**

Responder a essa questão é particularmente relevante para podermos compreender o quão importante são esses conhecimentos para o profissional engenheiro em nosso País, visto suas possibilidades de atuação no mercado de trabalho e o cenário tecnológico e industrial nacional. Além disso, pretendemos contribuir com apontamentos sobre a

formação inicial desse profissional, a qual pode estar em defasagem em relação ao desenvolvimento e à compreensão de determinadas tecnologias.

Acreditamos que conversar com engenheiros que atuam na indústria nos auxiliará a compreender se esses profissionais enxergam a necessidade desses conhecimentos em sua área de atuação e se percebem alguma defasagem em relação aos conteúdos de FMC na sua formação inicial. Além disso, partindo da pesquisa de Lemes e Rezende Junior (2011), a qual indica que a FMC presente nos cursos de Engenharia não é suficiente para a formação dos engenheiros, compreendemos ser importante investigar o que pensam os formadores sobre a ausência desses conteúdos no currículo dos futuros profissionais e se eles percebem a necessidade e importância de uma formação sólida em conteúdos de FMC, que esteja em consonância com a tecnologia moderna.

Lemes e Rezende Junior (2011) citam ainda a falta de estudos sobre essa temática, sugerindo que seja realizado um estudo mais aprofundado, centrado em aspectos qualitativos. Vindo ao encontro dessa necessidade, o objetivo geral da pesquisa é **investigar a importância da FMC na formação e atuação de engenheiros, segundo a concepção de formadores e engenheiros que atuam na indústria**. Para que possamos atingir tal objetivo, dividimos nossa investigação nas seguintes etapas: primeiramente vamos **analisar a extensão da FMC no currículo de cursos de Engenharia da UFSC e da UNIFEI**, etapa esta que nos auxiliará tanto a compreender se conteúdos de FMC tem sido abordados em cursos de Engenharia e quais destes têm sido privilegiados quanto a questionar formadores sobre o atual currículo de Física dos cursos, especialmente sobre a FMC. Em um segundo momento, vamos **identificar e analisar as concepções de engenheiros egressos da UFSC e UNIFEI, que atuam em indústrias, sobre a importância da FMC para sua formação e para sua prática profissional**. Por fim, vamos **identificar e analisar as concepções de formadores de cursos de engenharia da UFSC e da UNIFEI sobre a importância da FMC para a formação e atuação de engenheiros**.

Para apresentar o desenvolvimento deste trabalho, optamos por uma estrutura constituída de seis capítulos. No capítulo 1, intitulado **A Física Moderna e Contemporânea**, apresentaremos um breve histórico sobre a Física desenvolvida a partir do início do século XX; algumas tecnologias que foram desenvolvidas graças a esse avanço científico;

alguns incentivos do Governo Brasileiro para que essas tecnologias sejam desenvolvidas em nosso País; além de um breve panorama sobre o ensino da FMC na Educação Básica. No capítulo 2, que recebe o nome de **O profissional engenheiro e sua formação**, discutiremos aspectos sobre a identidade desse profissional, sua formação inicial e atuação no mercado de trabalho, além de documentos que norteiam o Ensino de Engenharia no País. Buscamos entender também qual a relação dos conhecimentos da Física com a formação e atuação do engenheiro, além de sinalizar o que pesquisas têm apontado sobre a relação da FMC e a formação dos engenheiros. No capítulo 3, denominado de **Procedimentos metodológicos**, abordaremos os caminhos percorridos ao longo da pesquisa, as características da investigação, a escolha de nossa amostra, e um instrumento para análise dos dados. O capítulo 4, intitulado **Análise de currículos de engenharia: detectando a presença da FMC**, trará a análise dos currículos dos cursos de graduação em Engenharia da UFSC e UNIFEI, na qual buscamos identificar conteúdos de FMC presentes nas ementas. No capítulo 5, denominado **Com a palavra, os engenheiros**, é dedicado à análise das entrevistas realizadas com os engenheiros que atuam em indústrias em nosso País, apresentando como esses profissionais enxergam a FMC na sua formação e no seu ofício. **Com a palavra, os formadores** é o título do capítulo 6, o último desta dissertação, o qual apresentará nossa interpretação acerca da concepção dos docentes de Engenharia sobre a importância da FMC na formação e atuação de engenheiros.



Capítulo 1

A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Neste capítulo, apresentamos alguns aspectos sobre a origem da FMC, algumas tecnologias decorrentes desse avanço científico, além de um breve panorama das pesquisas sobre o ensino da FMC na Educação Básica.

1. A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Para iniciar o trabalho, optamos por discorrer um pouco sobre as teorias da Física construídas a partir do século XX, as quais ficaram conhecidas por FMC. Além de provocarem grandes mudanças no campo da Física, no modo de ver e compreender a natureza, essas teorias também impulsionaram grandes avanços tecnológicos.

Iniciamos este capítulo com a apresentação de uma síntese dos principais acontecimentos que levaram à construção de novas teorias, o fortalecimento das ideias iniciais por meio de novos aportes teóricos e resultados experimentais e as implicações tecnológicas decorrentes desse avanço científico. Não é nosso intuito apresentar uma discussão com aprofundamento histórico e epistemológico dos acontecimentos, mas delimitar o que estamos denominando de FMC ao longo deste trabalho. Aproveitamos o capítulo para apresentar também alguns estudos do Governo Brasileiro que incentivam o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à FMC no Brasil e mostrar o considerável número de pesquisas e iniciativas, a partir da década de 90, para que o Ensino de FMC se consolide na Educação Básica.

1.1 Um breve histórico

No final do século XIX, alguns membros da comunidade científica acreditaram que a Física desenvolvida até o momento era suficiente para responder praticamente todas as inquietações dos cientistas e explicar todos os fenômenos da natureza até então observados, não restando grandes “descobertas” para esse campo do conhecimento (FREIRE JR, 2011).

Não é para menos toda essa confiança na Física estabelecida até o final do século XIX. As ideias do inglês Isaac Newton (1642-1727) e do escocês James Clerk Maxwell (1831-1879), as quais constituem a base do que chamamos hoje de Física Clássica (LEONEL, 2010), abarcam leis que dão conta de explicar os mais diversos fenômenos da natureza, desde sistemas mecânicos, termodinâmicos e fenômenos eletromagnéticos.

A mecânica newtoniana, de inquestionável sucesso acadêmico, conseguiu explicar o movimento de objetos próximos a nós, como pedras, até o movimento de corpos celestes, como a Lua e os planetas.

Sua aplicabilidade alcança também o movimento de partículas materiais, conforme demonstrado na Teoria Cinética dos Gases.

Maxwell, por outro lado, conseguiu unificar as teorias parciais sobre eletricidade e magnetismo. Por meio de quatro equações, o físico escocês constatou que eletricidade e magnetismo são aspectos inseparáveis da mesma força. Ele deu a essa força o nome de força eletromagnética, e ao campo que a carrega, de campo eletromagnético. Além disso, as equações de Maxwell previram distúrbios semelhantes a ondas no campo eletromagnético, que se propagariam com uma velocidade fixa. Ao calcular tal velocidade, Maxwell chegou ao valor de aproximadamente 3×10^8 m/s, exatamente o valor da velocidade da luz (HAWKING; MLODINOW, 2005).

Era difícil conciliar, no entanto, a teoria de Maxwell com as leis de Newton. Se uma onda eletromagnética, como a luz, viaja com uma velocidade fixa, conforme previsto por Maxwell, sua velocidade não deve depender do referencial. Assim, a luz emitida por uma fonte parada e por uma fonte em movimento deve ser a mesma, o que estava em discrepância com as ideias de Newton.

Como tentativa de resolver esse problema, foi sugerida a existência de uma substância, denominada éter, que estaria presente em todos os lugares, até mesmo no espaço vazio (vácuo). No entanto, em 1887, os americanos Albert Abraham Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923) realizaram um experimento demonstrando que a presença de tal elemento não poderia ser detectada (HAWKING; MLODINOW, 2005).

Foi, então, em 1905, que surgiu uma das teorias que abriu portas para um novo pensamento no campo da Física: a Teoria da Relatividade Restrita (ou Especial), de Albert Einstein (1879-1955). Segundo o famoso físico alemão, toda a ideia de éter criada para conciliar a teoria de Maxwell e as leis de Newton era desnecessária, desde que estivéssemos dispostos a abandonar a ideia de tempo absoluto.

A teoria da Relatividade Restrita (RR) proposta por Einstein (a qual se aplica apenas a referenciais inerciais) possui suas bases firmadas em dois postulados fundamentais:

- as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. Não existe referencial absoluto; e

- a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor em todas as direções e em todos os referenciais inerciais, independentemente da velocidade da fonte.

De acordo com a mecânica newtoniana, não existe um padrão absoluto de repouso. Desse modo, não poderá existir nenhuma concordância universal sobre a velocidade de um objeto (HAWKING; MLODINOW, 2005). Em contraponto, como podemos observar anteriormente, Einstein propõe que a velocidade da luz é uma constante universal em todos os referenciais inerciais, ou seja, a velocidade da luz emitida por uma fonte em movimento deve ser a mesma emitida por um fonte em repouso em relação a Terra. Um teste que comprova tal postulado foi realizado no ano 1964 por cientistas do CERN¹. O experimento realizado com alta precisão utilizava como fonte uma partícula denominada pión neutro (π^0), o qual decai em dois raios gamas ($\pi^0 \rightarrow 2 \gamma$). Esses raios são ondas eletromagnéticas e, portanto, devem estar de acordo com o postulado da velocidade da luz de Einstein. Os cientistas produziram um feixe de píons neutros que se moviam com uma velocidade de $0,99975c$ em relação ao laboratório. Os raios gamas emitidos por esses píons apresentaram a mesma velocidade que os raios gamas emitidos por píons em repouso, em relação ao laboratório (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Além disso, a partir desses postulados, Einstein demonstrou que espaço e tempo estão interligados e que a relação entre eles é diferente para observadores que estão em movimento um em relação ao outro. Ou seja, o tempo e o espaço não são absolutos (os mesmos para todos os referenciais inerciais). Um exemplo que demonstra uma consequência de o espaço e o tempo não serem absolutos é um observador estar em movimento, com uma velocidade próxima à velocidade da luz. O tempo para esse observador é dilatado em relação a um observador parado, ou seja, mesmo os relógios sendo idênticos quando colocados lado a lado, registram tempos distintos quando submetidos a essas situações. Algo diferente também ocorre com o espaço: quando o observador se movimenta com velocidade próxima à da luz, o espaço para ele é encolhido na direção do movimento.

¹ CERN – Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear. Maior laboratório de física de partículas do mundo, localizado em Genebra, na Suíça.

Outra consequência da teoria da RR é a equivalência massa-energia, ou seja, a massa passou a ser considerada uma forma de energia. Tal equivalência é representada pela famosa equação $E = mc^2$.

A RR leva a fama de ser uma teoria difícil e muito complexa, em especial, por contrariar o nosso modo de ver o mundo, o espaço, o tempo e as suas relações, ou seja, por contrariar o nosso senso comum. No entanto, o que é muito estranho e impensável para muitas pessoas tornou-se comum a muitos cientistas e engenheiros. Hoje, por exemplo, um engenheiro envolvido com o Sistema de Posicionamento Global (GPS) utiliza da teoria da Relatividade para determinar a passagem de tempo nos satélites, uma que vez que o tempo passa mais devagar nos satélites do que na superfície da Terra.

Em 1916, Einstein complementou suas ideias generalizando sua teoria para referenciais não inercias. Tal proposta, que ficou conhecida como Teoria da Relatividade Geral, sugere que a força gravitacional é diferente das outras forças conhecidas, sendo uma consequência de o espaço-tempo ser curvo pela distribuição de energia e massa dentro dele (HAWKING; MLODINOW, 2005).

O início do século XX não foi marcado apenas pela teoria da Relatividade, de Einstein. O outro lado do desenvolvimento da Física no início desse século ficou conhecido como Mecânica Quântica (MQ). Conforme descreve Freire Jr. (2011), a grande revolução quântica começou indiretamente por volta de 1900, quando estudiosos da época, em especial James Jeans (1877-1946) e Lorde Rayleigh (1842-1919), buscavam uma equação matemática capaz de prever com precisão a quantidade de energia que um corpo aquecido, incandescente, poderia irradiar. Em suma, os físicos tentaram resolver o problema do chamado “corpo negro”². As explicações clássicas que existiam na época para o fenômeno, inclusive as desses dois físicos mencionados, davam conta de explicar o comportamento da radiação emitida apenas em uma faixa do espectro de radiação, apresentando falhas quando consideradas altas frequências (MARRANGHELO; PAVANI, 2011). Tamanha era a discrepância entre os resultados da teoria clássica e as observações experimentais que tal falha na teoria ficou conhecida como “catástrofe do ultravioleta” (FREIRE JR., 2011).

² Corpo negro é um meio ou uma substância que absorve toda a radiação incidente sobre ele e emite toda radiação produzida em seu interior (MARRANGHELO; PAVANI, 2011).

Foi em 14 de dezembro de 1900 que o físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), considerado pai da MQ, apresentou o resultado de seis anos de busca por uma fórmula matemática que descrevesse corretamente a radiação de um corpo negro, problema este que estava ligado à interação entre radiação e matéria. Planck propôs que os osciladores eletrônicos, responsáveis pela emissão e absorção da radiação eletromagnética de um corpo negro, só poderiam vibrar com determinados valores de energia, e não de forma contínua, como se acreditava até então³. Ou seja, a radiação deveria ser emitida/absorvida por minúsculos pacotes ou *quanta*⁴ de energia (FREIRE JR, 2011).

A solução encontrada por Planck pareceu uma proposta absurda para a comunidade científica da época, gerando uma forte discordância por muitos cientistas. Até o próprio Planck ficou relutante com sua revolucionária hipótese quântica. No entanto, tal proposta levou o físico alemão a receber o Prêmio Nobel por sua “descoberta”, no ano de 1918.

Em 1905, Albert Einstein utilizou das ideias de Planck para resolver o problema do efeito fotoelétrico⁵. Einstein mostrou que a quantização não era característica apenas da radiação dos corpos negros, mas também uma característica fundamental da energia luminosa (FREIRE JR, 2011). Hoje, a quantidade elementar de luz é denominada de *fóton*. A proposta de Einstein entrava em conflito com uma das teorias mais notáveis da Física no século XIX, que estabelecia o caráter ondulatório da luz. Além disso, “[...] a contribuição de Einstein tornou-se ainda mais dramática, pois carregava em si um caráter dual, ou seja, ambas as possibilidades (onda ou partícula) poderiam estar presentes na luz [...]” (FREIRE JR., 2011, p. 313), estabelecendo assim um dos maiores dilemas da época.

Mais tarde, no ano 1924, o jovem francês Louis Victor Pierre Raymond, Príncipe De Broglie (1892-1987), propôs em sua tese de doutoramento que o comportamento dual é propriedade também da matéria, especialmente dos elétrons, ou seja, tais partículas teriam, além das propriedades da matéria, um comportamento ondulatório. Como relatam Hawking e Mlodinow (2005), para certos fins, tornou-se útil

³ Disponível em <<http://www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/fisquantica.pdf>>.

⁴ Palavra de origem latina e plural do termo *quantum*, a qual significa quantidade ou porção discreta usada para caracterizar uma quantidade elementar de uma grandeza física.

⁵ O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons, por materiais metálicos, quando sobre eles incide um feixe de luz (FREIRE JR., 2011). Albert Einstein ganhou o prêmio Nobel de Física, em 1921, graças às suas contribuições ao efeito fotoelétrico, e não pela teoria da Relatividade, como muitos acreditam.

pensar nas partículas como ondas e, para outros fins, pensar nas ondas como partículas. O trabalho de De Broglie se tornou, então, o marco entre a “velha” e a “nova” teoria quântica (FREIRE JR., 2011).

A hipótese de De Broglie foi confirmada, em 1927, pelos físicos americanos Clinton Joseph Davisson (1881-1958) e Lester Halbert Germer (1896-1971), os quais, sem ter conhecimento das ideias de De Broglie, observaram a difração (fenômeno característico de comportamento ondulatório) de elétrons. Ainda no mesmo ano, George Paget Thompson (1892-1975), físico britânico, mostrou também que os elétrons sofrem difração e calculou o comprimento de onda de De Broglie.

O trabalho do físico francês De Broglie induziu também a construção do que mais tarde ficou conhecida como Mecânica Ondulatória, uma formulação matemática para a MQ, a qual culminou com os trabalhos do austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961).

O advento desses novos pensamentos no campo da Física também trouxe outro fator que gerou um grande desconforto para a, até então, estabelecida Física Clássica. A possibilidade de calcular a posição e a velocidade de uma partícula com exatidão não era mais possível, como percebeu o cientista alemão Werner Karl Heisenberg (1901-1976), em 1926, ao formular o seu famoso princípio da incerteza.

Nessa teoria, as partículas não mais tinham posições e velocidades separadas, bem definidas. Em vez disso, tinham um estado quântico, que era uma combinação da posição e velocidade definidas apenas dentro dos limites do princípio da incerteza (HAWKING; MLODINOW, 2005).

A partir desse momento, o caráter determinístico da Física saiu de cena e entrou a natureza probabilística, fazendo-se necessária a utilização de estatística. Não existe um único resultado definido para a observação, mas sim são previstos vários resultados diferentes, com a respectiva probabilidade de cada um deles.

Esse novo modo de pensar o movimento de partículas levou Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Paul Dirac (1902-1984), entre outros, a partir da década de 1920, a criar uma nova teoria, a então denominada MQ, discutida e estudada até os dias de hoje (HAWKING; MLODINOW, 2005).

Com a construção da Física a partir do século XX e da MQ, além de tornar-se possível a explicação de fenômenos até então inexplicáveis, foi possível também o desenvolvimento de várias tecnologias que temos acesso hoje, as quais discutiremos com mais detalhes na seção seguinte.

Vale ressaltar que a existência de uma Física Moderna não invalida as teorias desenvolvidas anteriormente, denominadas de Física Clássica. No entanto, estas últimas passaram a valer dentro de alguns limites: quando as massas dos corpos não são tão pequenas quanto as massas atômicas e nem tão grandes quanto as massas das galáxias, e quando as velocidades envolvidas são muito inferiores à velocidade da luz (LEONEL, 2010).

Tanto a Relatividade quanto a MQ foram os marcos do que se denomina hoje de Física Moderna e Contemporânea. Apesar de não haver um consenso que delimite os períodos clássicos, modernos e contemporâneos, podemos dizer que a Física Moderna contempla o período do início do século XX até os anos 1940, já a Física Contemporânea, após o início da Segunda Guerra Mundial até os dias atuais (PERFOLL; REZENDE JR., 2006).

Apesar da Relatividade e da MQ marcarem o início de novos rumos para o campo da Física, também fazem parte do que chamamos hoje de FMC outras áreas que estão em constante desenvolvimento, como a Física Nuclear (com grande desenvolvimento a partir da Segunda Guerra Mundial, após as explosões das bombas de Hiroshima e Nagasaki), a Física de Partículas (que desde 1897, quando o átomo foi “quebrado” pelo físico inglês Joseph John Thomson e a primeira partícula elementar foi descoberta, permanece em constantes estudos em laboratórios pelo mundo, como no CERN), além de estudos no campo da Astrofísica e Cosmologia.

É importante mencionar novamente que não é nosso objetivo trazer uma análise exaustiva, com profundidade histórica e epistemológica sobre os acontecimentos no campo da Física a partir do século XX. Buscamos, no entanto, apenas delimitar o que estamos intitulando de FMC ao longo deste trabalho.

1.2 Implicações tecnológicas

Desde o surgimento do transistor, dispositivo aplicado em vários equipamentos do nosso cotidiano, como rádios, televisões, celulares, entre outros, a tecnologia tem se expandido com extrema rapidez. O *laser* também possui sua parcela de contribuição para o avanço tecnológico, com suas aplicações em telecomunicações, na medicina, em indústrias, entre outros. No entanto, todos esses desenvolvimentos foram possíveis a partir dos avanços da ciência básica que os precederam. Com a MQ em especial, foi possível descrever o comportamento de átomos isolados, elétrons e arranjos de átomos formando moléculas, conhecimentos essenciais para tais avanços tecnológicos. O conhecimento da natureza quântica da matéria e da luz abriu portas também para a nanociência e nanotecnologia – termos cada vez mais presentes em nosso meio. Conforme Valadares, Chaves e Alves (2005, p. 52), “[...] no nanomundo os fenômenos da natureza quântica se manifestam com frequência e de forma surpreendente”.

Esta seção do trabalho é dedicada à apresentação de algumas dessas implicações tecnológicas, seguidas de alguns estudos do Governo Brasileiro que incentivam o desenvolvimento dessas tecnologias aqui no País.

1.2.1 Semicondutores e a indústria da microeletrônica

Utilizados em computadores, sensores, aparelhos de televisão, telefonia, entre outras aplicações, os semicondutores são a base da indústria eletrônica. Com características elétricas peculiares – não totalmente isolantes como uma borracha ou um vidro e não tão bons condutores como cobre ou ferro – os semicondutores permitem que seja alterado, com extrema precisão, o número de elétrons livres disponíveis em áreas predefinidas do material (ALVES; SILVA, 2008). Graças à mecânica quântica, que propiciou a interpretação das propriedades observadas nesses materiais, hoje os conhecimentos dessas propriedades contribuem para o desenvolvimento tecnológico na área de comunicações, no processamento de dados e em diversos aparelhos eletrônicos.

Na Física Clássica, a condução de eletricidade nos sólidos é explicada por meio de uma comparação entre o movimento de um elétron numa rede cristalina com uma bolinha contra os átomos de um

cristal. Na MQ, o elétron deixa de ser considerado uma partícula e entra em cena a sua natureza ondulatória. Ou seja, é considerada uma onda de elétron se envolvendo numa rede cristalina. O espalhamento das ondas do elétron é causado pelas impurezas ou pelos deslocamentos de átomos do cristal, causados pela vibração térmica desses átomos (TIPPLER; LLEWELLYN, 2006). A teoria clássica até consegue explicar qualitativamente propriedades como a resistividade elétrica e a condutividade térmica de um sólido, no entanto, em termos de uma análise quantitativa, ela não é suficiente, aparecendo a necessidade da explicação quântica.

A seguir, trouxemos uma breve explicação do comportamento elétrico dos sólidos. Apesar de não explicitarmos a teoria quântica por trás de muitos dos elementos apresentados, como o esquema da figura 1, gostaríamos de ressaltar a necessidade dessa “nova” Física para a construção de explicações sobre os comportamentos.

Em suma, pode-se entender o comportamento elétrico desses materiais a partir da ideia de “bandas de energia” e fazendo uso do “princípio da exclusão de Pauli”, o qual regula a distribuição de elétrons nessas bandas. Quando uma banda fica cheia, esse princípio nos diz que uma próxima banda deverá ser ocupada. É a disposição dessas bandas de energia que nos diz se um material é semicondutor, isolante ou metal (figura 1).

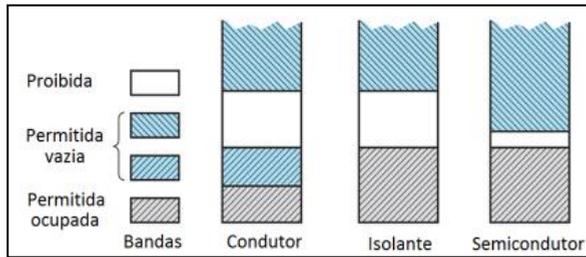


Figura 1.1: Três arranjos possíveis para bandas de energia em um sólido.
 Fonte: <<http://fiscite.blogspot.com.br/2012/09/tv-led-e-semicondutores.html>>.

A banda ocupada pelos elétrons das últimas camadas dos átomos (elétrons de valência que são responsáveis pela condução elétrica) é conhecida como “banda de valência”. A banda permitida situada imediatamente acima é chamada de “banda de condução”. Para que seja estabelecida uma corrente elétrica, é necessário que os elétrons

da banda de valência, na presença de um campo elétrico externo, ocupem a banda de condução, ficando livres para conduzir eletricidade. Quando um sólido possui sua banda de valência totalmente ocupada e uma banda de energia proibida larga, a qual separa a banda de valência da banda de condução, esse sólido é caracterizado como isolante. Essa larga banda proibida impede que os elétrons sejam transferidos de uma banda para outra e participem da condução elétrica. Para o caso dos condutores, as bandas de valência e condução se superpõe, o que facilita tanto a transferência dos elétrons quanto a presença de uma corrente elétrica. Similar aos isolantes, os semicondutores também possuem uma banda de energia proibida entre as bandas de valência e de condução, no entanto, com uma dimensão bem menor.

Em relação aos semicondutores, estes são classificados em dois tipos: intrínsecos e extrínsecos. O primeiro tipo é aquele encontrado na natureza, na sua forma mais pura. Já os semicondutores extrínsecos são aqueles que sofrem um processo de “dopagem”, no qual são introduzidas impurezas no semicondutor intrínseco para controlar suas características elétricas.

O silício, por exemplo, é um semicondutor muito utilizado na indústria. Para se conseguir determinadas características elétricas, pode-se inserir um átomo de fósforo num cristal de silício. A inserção dessa “impureza” acarretará em um elétron a mais na rede cristalina. O elétron, por não estar fortemente ligado ao átomo, poderá se mover livremente pelo material. Quando o novo material possui elétrons em excesso, ou seja, a impureza colocada no material doou elétrons, esse material é chamado de semicondutor do tipo n. No entanto, quando um átomo de gálio, por exemplo, é inserido na rede cristalina do silício, um elétron estará faltando. Esse “buraco” causado pela ausência de um elétron se comportará como uma carga positiva, pois um elétron vizinho pode ocupar esse espaço. O semicondutor com falta de elétrons é chamado de semicondutor tipo p (ALVES; SILVA, 2008).

É possível, no entanto, que num mesmo pedaço de material ocorra dopagem do tipo n e, numa região vizinha, dopagem do tipo p. Esse tipo de processo recebe o nome de junção p-n e possui algumas aplicações, como os diodos. Tais dispositivos são utilizados, principalmente, para conversão de corrente alternada em corrente contínua, uma vez que a maioria dos equipamentos funciona a partir desta última. Outro tipo de diodo é o famoso LED, o qual também possui várias aplicações, pois são confiáveis, de reduzido tamanho e

representam grande economia de energia quando comparados às lâmpadas convencionais.

O marco principal da microeletrônica foi o advento do “transistor”, produzido pela primeira vez em 1947 pelos físicos John Bardeen (1908-1991) e Walter Houser Brattain (1902-1987). Utilizado para amplificar sinais elétricos de televisões, rádios e outros equipamentos de áudio, o transistor substituiu as antigas válvulas de vidro. As válvulas, além de volumosas, eram muito frágeis, consumiam muita potência e geravam calor excessivo. Por outro lado, os transistores se apresentam muito menor que uma válvula, são mais confiáveis, geram menos calor, duram mais e consomem menos energia. Os primeiros computadores, por exemplo, nos quais eram utilizadas válvulas, além de ocuparem grandes espaços, eram bastante limitados em capacidade de processamento se comparados com as atuais PCs, baseados em transistores e nos circuitos integrados (CI) (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005).

Com o advento do transistor, novos desafios surgiram no desenvolvimento de circuitos eletrônicos. Era possível juntar centenas ou milhares de componentes como transistores, diodos, resistores e capacitores num circuito eletrônico, no entanto, o trabalho de confecção desse circuito era artesanal, de alto custo e pouco confiável. Foi na década de 1950 que o físico e engenheiro eletricista Jack Kilby (1923-2005) teve a ideia de fabricar circuitos que continham vários componentes distintos utilizando apenas materiais semicondutores. Em vez de um transistor, um resistor, um capacitor e um diodo, poderia se utilizar pedaços de germânio (uma material semicondutor) que realizava todas as funções necessárias, pois, além de apresentarem resistividade (servindo como um resistor), a junção p-n servia também como um capacitor para o circuito.

O desenvolvimento dos CIs revolucionou a indústria eletrônica, pois permitiu uma enorme miniaturização e integração de componentes eletrônicos em ultralarga escala. No entanto, toda essa miniaturização atinge limites físicos, e para que se amplie a capacidade de processamento dos computadores e microprocessadores, serão necessárias formas de integração e miniaturização em escala atômica, o que consiste em grande desafio para a nanotecnologia (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005).

1.2.2 Nanociência e nanotecnologia

O universo da nanociência e da nanotecnologia abrange desde átomos até objetos com cerca de 100 nanômetros (nm). Nano, que no grego significa “anão”, quer dizer também um bilionésimo. Por exemplo, um nanômetro corresponde a um bilionésimo de metro.

Apesar de o termo “nanotecnologia” ter sido criado no ano de 1974, na Universidade de Tóquio, o uso de objetos nessa escala não é algo recente. Mesmo sem consciência da natureza nanoscópica, o homem já produz e faz uso de materiais nessa ordem de grandeza há muito tempo. Valadares, Chaves e Alves (2005) trazem o exemplo da utilização da tinta nanquim pelos chineses há cerca de dois mil anos. Essa tinta é constituída por partículas nanométricas de grafite suspensas em água.

Quando falamos atualmente em nanotecnologia, o que mais se destaca são as possibilidades de desenvolvimento de novos materiais, a síntese controlada de macromoléculas com propriedades inéditas e o desenvolvimento de fármacos (mais eficientes e seguros), englobando, dessa forma, várias áreas do conhecimento, como a Física, a Química, a Biologia, a Ciência e a Engenharia dos Materiais, a Farmacologia, a Engenharia Elétrica, entre outros. No entanto, conhecer e manipular a matéria em escala atômica (o que levou a esses desenvolvimentos) só se tornou possível graças a dois avanços importantes: a invenção de instrumentos que permitissem enxergar e manipular a matéria (microscópios de varredura por sonda) e pelo desenvolvimento de equipamentos que produzem filmes sólidos com controle de espessura em escala atômica (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005). Em relação aos instrumentos, destacamos o microscópio eletrônico de tunelamento, inventado por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer no ano de 1981. A figura 2 mostra uma imagem obtida por microscopia de tunelamento de 51 átomos de ouro (mais um átomo não identificado) depositados na superfície de um cristal de ouro.

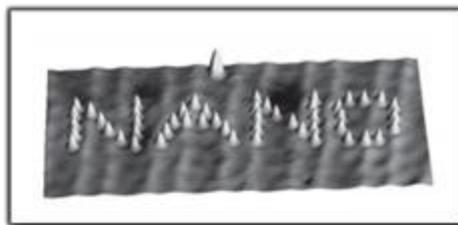


Figura 1.2: Imagem obtida por microscopia de tunelamento de 51 átomos de ouro (mais um átomo não identificado) depositados na superfície de um cristal de ouro. Cada um dos átomos de ouro foi deslocado pela ponta do microscópio para escrever a palavra “NANO”.

Fonte: <<http://www.zahar.com.br/sites/default/files/arquivos//t1244.pdf>>.

O trabalho em escala atômica pode ocorrer de duas maneiras: de cima para baixo, conhecido como *top down*, e também de baixo para cima, chamado de *bottom up*. No primeiro caso, *top down*, trata-se em reduzir o material a dimensões nanométricas. No caso do *bottom up*, a ideia é de construção de dispositivos a partir da manipulação de átomo a átomo ou molécula a molécula, como tijolos em uma construção (SHULZ, 2005; LEONEL, 2010).

O interesse de se obter os materiais em escalas nanométricas se dá pelas alterações em suas propriedades. O ferro, por exemplo, possui determinadas características, como ponto de fusão, cor, imantação, entre outras, que não dependem do tamanho do bloco de ferro que está sendo analisado. Por mais que um cubo de ferro reduza seu tamanho e seu lado chegue a medir cerca de um décimo de milímetro, ainda encontraremos as mesmas características e propriedades usuais do ferro. Entretanto, quando atingimos a escala nanométrica, grandes mudanças começam a aparecer, entre elas a fusão do ferro em temperaturas mais baixas – o material não pode ser mais imantado –, entre outras alterações que dependem do tamanho do bloco de ferro analisado (VALADARES; CHAVES; ALVES, 2005).

Visto esse exemplo, podemos dizer que a tanto a nanociência quanto a nanotecnologia se dedicam a explorar novas propriedades, buscando suas muitas aplicações tecnológicas. Conforme Valadares, Chaves e Alves (2005, p. 53), “[...] o que caracteriza tanto a nanociência quanto a nanotecnologia é a adoção de técnicas que permitem tanto

visualizar como manipular a matéria em escala nanométrica, incluindo a manipulação de átomos [...]”, e para isso, se faz essencial o conhecimento da FMC, em especial a MQ, a qual descreve o comportamento dos corpos em escala atômica.

O livro “Aplicações da Física Quântica: do transistor à nanotecnologia”, dos autores Valadares, Chaves e Alves, já mencionados no trabalho, traz uma série de exemplos na nanotecnologia. Entre àquelas citadas, destacamos os nanotubos de carbono e suas muitas aplicações, a fabricação e utilização de nanobalanças, os avanços na medicina por meio da disponibilidade de drogas de forma controlada e o uso de nanopartículas no combate a tumores, além de aplicações no meio ambiente a partir da utilização de nanopartículas magnéticas para remoção de manchas de petróleo presentes na água, entre outros exemplos.

1.3 Incentivos do Governo Brasileiro

São vários os exemplos de tecnologias desenvolvidas a partir dos conhecimentos da FMC, em especial da MQ. No entanto, optamos por discorrer brevemente sobre os semicondutores e as nanotecnologias por dois motivos: primeiramente, pela existência de estudos estratégicos e pesquisas prospectivas realizadas por entidades civis e instituições de apoio à pesquisa que mostram o quanto essas tecnologias têm contribuído aos países que as desenvolvem, fazendo apontamentos para as potencialidades do Brasil em investir nessas áreas. Em segundo lugar, escolhemos esses temas, pois algumas iniciativas já vêm sendo tomadas pelo Governo Federal para que pesquisas sejam desenvolvidas nesse âmbito, visando inovação e desenvolvimento tecnológico para o País.

Um estudo realizado pela Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e por incentivo da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no ano de 2011, apresenta uma análise de algumas dificuldades e desafios que o Brasil enfrenta para o crescimento da indústria e para que esta se torne competitiva no cenário nacional e internacional. O estudo traz os semicondutores e a indústria eletrônica como um dos setores estratégicos, ou seja, um setor vital para o desenvolvimento do País, mas que compõe o segmento mais deficitário da balança comercial brasileira.

O levantamento da SBPC traz informações sobre as aplicações dos semicondutores, o mercado global desses materiais (avaliado em

300 bilhões de dólares no ano de 2010), além de algumas atividades do Governo Brasileiro envolvendo o mercado de semicondutores. Algumas iniciativas já vêm sendo apresentadas nos últimos anos, no sentido de introduzir no País pesquisa, desenvolvimento e inovação nessa área. Entre elas, a criação do Programa CI-Brasil (2005), pelo, na época, Ministério da Ciência e Tecnologia. Tal programa foi criado dentro do Programa Nacional de Microeletrônica, instituído no ano de 2002. O CI-Brasil, segundo o estudo, além de apoiar a atividade comercial de engenharia de projetos de CIs em núcleos chamados de *design houses* (geralmente instalados próximos a centros universitários com pesquisa em microeletrônica), também vem apoiando, desde 2008, um programa de formação de engenheiros projetistas de CIs em dois centros de formação, um na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e outro na cidade de Campinas.

O estudo aponta ainda outras ações do Governo para desenvolver o setor de semicondutores no País, como o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (2007), além da criação de uma empresa pública (Centro Nacional de Tecnologia Eletrônica Avançada – CEITEC), no ano de 2008, que está localizada no estado do Rio Grande do Sul e é vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

O estudo traz um alerta para o potencial do Brasil em produção de silício, um dos semicondutores predominantes para utilização em CIs, células fotovoltaicas, entre outros. Segundo o estudo, o Brasil possui uma das maiores jazidas de quartzo usado como matéria-prima para extrair o silício. No entanto, apesar de o País extrair esse elemento, não o purifica o suficiente para utilizá-lo na indústria eletrônica, perdendo-se a oportunidade de exportá-lo com maior valor agregado. Além de afetar a balança comercial do País, a falta de produção e desenvolvimento de componentes e produtos eletrônicos limita a capacidade de inovação do Brasil e, conseqüentemente, a nossa competitividade em alguns setores, ficando na dependência das exportações de países desenvolvidos.

Esses estudos, incentivos e investimentos pouco têm afetado de fato as atividades empresariais dos semicondutores no País. Os maiores obstáculos, segundo o estudo, são a falta de mão de obra qualificada, o alto custo para instalação dessas empresas, centros de P&D governamentais tímidos em termos de recursos financeiros e humanos quando comparados a outros países, entre outros (SBPC, 2011),

Por fim, o estudo apresenta algumas recomendações para o desenvolvimento da área de semicondutores e suas aplicações no País, entre elas: priorizar P&D em projetos de CIs, diodo emissor de luz (LED) e diodo orgânico emissor de luz (OLED), eletrônica orgânica, entre outros; estimular a produção do silício com valor agregado; aumentar a interação dos centros de P&D com a indústria; formar recursos humanos em quantidade e qualidade nos temas de projeto de CIs etc. (SBPC, 2011).

Pelo lado da nanociência e da nanotecnologia, também encontramos alguns incentivos do Governo para que haja desenvolvimento tecnológico nessa área no País. O trabalho “Nanociência e Nanotecnologia: políticas públicas no Brasil”, de Sereia et al. (2011), e o Relatório de Nanotecnologia do Ministério da Ciência e Tecnologia (2006)⁶ trazem algumas ações do governo federal em relação a esse tema. Segundo esses trabalhos, as iniciativas do Governo na área de nanotecnologia iniciaram-se no ano de 2001, com a criação de quatro redes de pesquisa que visavam fazer um mapeamento das competências e potencialidades nacionais. Já no ano de 2003, foi criado um grupo de trabalho para definir as bases do Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, o qual foi aprovado pelo Congresso Nacional no final do mesmo ano, com o objetivo central de promover o desenvolvimento de novos produtos e processos em nanotecnologia, visando o aumento da competitividade da indústria nacional. Ainda em 2003, houve a liberação de cinco milhões de reais para as quatro redes de pesquisa, praticamente o dobro do que foi cedido no ano de 2001⁷. Em 2004, destaca-se o apoio a 19 projetos de pesquisa participativa entre universidades e empresas, totalizando recursos da ordem de quatro milhões de reais. O Governo criou mais dez redes de pesquisa em nanotecnologia no ano de 2005, além de oferecer apoio às incubadoras nessa área. Em 2007, houve lançamento de um edital que visava apoio a atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação, mediante o financiamento de projetos que visavam dar continuidade ao processo de expansão e consolidação da área. E, em 2010, houve a inauguração do Centro de Caracterização em Nanotecnologia do Instituto Nacional de Tecnologia.

⁶ Disponível em: <http://nano.iiep.org.br/sites/default/files/relatorio_nano_mct.pdf>.

⁷ Pequeno investimento, se comparado ao EUA que em 2002 investiu 50 milhões de dólares só em pesquisas de nanotecnologia para aplicação em trajes para as forças armadas americanas, no entanto, esse fato aponta uma preocupação inicial do Governo Brasileiro com o assunto.

No *site* do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação⁸, também encontramos algumas informações a respeito do assunto, como a criação do projeto SisNANO, no ano de 2012, que consiste em um sistema nacional de laboratórios em nanotecnologias. O sistema é formado por um conjunto de 26 laboratórios dedicados às atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Os laboratórios receberam investimentos para prioritariamente melhorar a infraestrutura e se manterem internacionalmente competitivos; para permitir a incorporação, fixação e manutenção de corpo técnico-científico de alta qualificação, adequado ao desenvolvimento das missões desses laboratórios; e para permitir que funcionem de forma aberta, atendendo usuários e instituições dos setores público e privado.

No endereço eletrônico da SBPC⁹, foi divulgado em agosto de 2013 que o governo federal vai investir 450 milhões de reais para estimular a ligação entre universidade e empresa na área de nanotecnologia. O investimento faz parte da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia e tem por objetivo fortalecer as ações do Governo com as empresas dessa área, visando ao desenvolvimento científico e tecnológico. Entre as áreas prioritárias para o desenvolvimento estão: tecnologia de informação, aeronáutica, agronegócios, saúde e cosméticos, energia e óleo e gás.

Segundo a reportagem, o ministro da Ciência, Tecnologia e Inovação relatou sobre a necessidade de aproximar a universidade da empresa, superando a tradição brasileira de separar o setor público do privado. Inclusive, a própria legislação não favorece que essa parceria aconteça. O ministro afirmou também que a relação entre universidades e empresas não será baseada na compra de um produto, mas sim no seu desenvolvimento.

A intenção dessa secção foi apresentar alguns elementos que apontam o interesse do Governo Brasileiro e de associações ligadas à Ciência e Tecnologia e Inovação em que essas tecnologias sejam desenvolvidas em nosso País. Apesar de um investimento ainda bem discreto, se compararmos a países desenvolvidos, já se pode observar uma preocupação para que essas tecnologias façam parte do cenário industrial brasileiro – não somente a importação destas, mas também o seu desenvolvimento. Para que isso aconteça, há a necessidade de

⁸ Disponível em: <<http://nano.mct.gov.br/sisnano/sobre-o-sisnano/>>.

⁹ Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/site/noticias/materias/detalhe.php?id=1899>>.

mudanças em muitos fatores, mas um deles, sem dúvida, é uma mão de obra qualificada, com profissionais aptos ao entendimento e desenvolvimento tecnológico.

1.4 A FMC na Educação Básica

Não é nosso intuito fazer uma intensa revisão bibliográfica sobre o Ensino da FMC na Educação Básica, em especial no Ensino Médio, pois já existem trabalhos na literatura com esse objetivo – como de Silva e Almeida (2011) e Ostermann e Moreira (2000). Temos a intenção, no entanto, de mostrar o quanto esse assunto vem se consolidando nas últimas duas décadas e como cada vez mais iniciativas vem sendo tomadas para que o Ensino de FMC se concretize em sala de aula. Tal tema vem sendo amplamente discutido em eventos como o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), o Encontro de Pesquisas em Ensino de Física (EPEF) e o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), além de frequentemente aparecer em teses, dissertações e artigos publicados em periódicos da área.

Desde a década de 1990, o professor Eduardo A. Terrazan já alertava para o nosso ultrapassado currículo de Física do, então, 2^o grau (TERRAZAN, 1992). O currículo que geralmente traz Mecânica, Termodinâmica, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo é, segundo o professor, reflexo de estruturas curriculares de outros países e que há tempos se perpetua pelas escolas do nosso País. Além de defasado, pois concentra conhecimentos desenvolvidos entre 1600 e 1850, o currículo é extremamente amplo, sendo escolhidos geralmente os mesmos tópicos de cada tema para serem abordados em sala de aula (como cinemática, termometria, eletrostática). Em meio a esse panorama, o autor defende que a FMC seja incorporada aos currículos do Ensino Médio por dois motivos principais: para entendimento do mundo criado pelo homem atual; e para inserir um cidadão consciente, participativo e modificador nesse mesmo mundo.

Outras justificativas já vinham sendo apresentados, especialmente na literatura estrangeira. Ostermann e Moreira (2000) trazem uma revisão bibliográfica sobre o tema, na qual apresentam alguns autores e suas respectivas justificativas para a inserção da FMC no Ensino Médio.

– Borjas (1988) elenca alguns motivos, entre eles, despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles. Segundo o autor, os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Para Borjas, essa situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente. Além disso, a inserção da FMC poderá causar entusiasmo para estudar Física e atrair jovens para a carreira científica. Ser um conhecimento de difícil compreensão não é justificativa para não se ensinar FMC. Para o autor, os estudantes também apresentam grandes dificuldades conceituais em relação à Física Clássica.

– Stannard (1990) relata uma pesquisa realizada com estudantes universitários de Física para os quais a FMC foi a maior influência na escolha da carreira.

– Para Torre (1998), o Ensino de FMC pode proteger o estudante das pseudociências, dos charlatanismos (comuns quando falamos em FQ); também propicia o conhecimento das consequências tecnológicas, além de ser parte inseparável da cultura.

– Gil et al. (1987) defendem que a introdução de conceitos atuais de Física pode contribuir para uma visão mais correta da ciência e da natureza do trabalho científico, superando uma visão linear e cumulativa.

- Valadares e Moreira (1998) concordam sobre a importância de os estudantes compreenderem os fundamentos da tecnologia atual.

- Carvalho et al. (1999) discursam sobre o papel da MQ na cultura científica, tecnológica e filosófica do século XX, sendo tais aspectos justificativas para sua inserção no Ensino Médio.

Por fim, Laburú et al. (1998) alertam que "[...] devem os alunos secundaristas estudar FMC do século XX, antes que ele acabe".

Os documentos oficiais trouxeram reforço para o que vinha sendo discutido na academia. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN), em sua versão PCN+, explicitam sua preocupação em relação ao ensino da FMC:

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais

líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. (BRASIL, 2002).

A Proposta Curricular de Santa Catarina (PCSC) também discorre sobre a importância de temas mais recentes da Física se fazerem presentes no currículo do Ensino Médio. Segundo ela, é inaceitável, por exemplo, tratar a luz apenas como uma onda clássica, desconsiderando sua natureza quântica, ou também, aceitar que na Química do Ensino Médio se faça uso de elementos quânticos para explicar a regularidade nos saltos de comportamento dos elementos químicos e tal discussão não se faça presente nas aulas de Física, fragmentando os conhecimentos estudados (PCSC, 1998). A PCSC alerta para a visão restrita de muitos professores que acreditam na necessidade de completar todo o aprendizado da Física Clássica como pré-requisito para o ensino da FMC, dificultando ainda mais a inserção destes últimos conhecimentos.

Após a recorrente aparição de pesquisas que apresentam justificativas para o Ensino da FMC e dos documentos oficiais, a academia voltou-se para a apresentação de trabalhos que dessem subsídios aos professores da Educação Básica para implantar a FMC na sala de aula. Foram propostos materiais didáticos de apoio ao professor – como os trabalhos de Ostermann (1999), Ostermann e Cavalcanti (1999); Brockington (2005) e Siqueira (2006) – e apresentadas intervenções didáticas desenvolvidas em sala de aula – como as de Siqueira e Pietrocola (2010), Siqueira, Pietrocola e Ueta (2007), além de discussões com licenciandos e professores acerca de suas concepções sobre o Ensino de FMC e as dificuldades encontradas para que isso se faça presente em sua prática (REZENDE JUNIOR; SOUZA CRUZ, 2009; LAWALL et al., 2010; SOUZA; LAWALL, 2011). É importante destacar que, entre as dificuldades citadas na literatura, está a própria formação inicial do professor, a qual, por vezes, não propicia que os licenciandos saiam preparados para discutir esses conteúdos com seus alunos (SOUZA; LAWALL, 2011). Infelizmente, a crescente produção científica acerca do tema não tem refletido efetivamente na sala de aula.

Seja pelo distanciamento das pesquisas com a escola e o professor ou pela falta de tempo do professor em se especializar e aperfeiçoar suas aulas ou, ainda, o pequeno número de profissionais habilitados lecionando a disciplina de Física.

Apesar de uma gama de pesquisas sobre o Ensino de FMC na Educação Básica e também nos cursos de licenciatura, não encontramos muitos estudos semelhantes para outros cursos do Ensino Superior, como as engenharias. Temos consciência de que, para esses casos, os argumentos não são e nem devem ser os mesmo utilizados para defender (ou não) o Ensino de FMC na Educação Básica, etapa esta com outros objetivos de formação. No entanto, esse panorama nos faz refletir sobre alguns pontos: a tradição da Física Clássica no Ensino Médio e a dificuldade para que “novos” conteúdos sejam inseridos nas estruturas curriculares refletem também nos cursos de Engenharia? A comum divisão da Física em Mecânica, Termodinâmica, e assim por diante, a qual o professor Terrazan apontou em seu artigo como defasada para a época, não é semelhante aos cursos do Ensino Superior na área das ciências exatas, como as engenharias, do nosso País? Será que as disciplinas de Física nesses cursos precisam também de uma reestruturação?

Essas e outras questões estão permeando nosso trabalho e esperamos que, ao final dele, alguns pontos sejam esclarecidos acerca da Física na formação do profissional engenheiro. Para continuarmos a discussão, dedicamos o próximo capítulo para apresentar quem é esse profissional, o que o Governo estabelece para sua formação, quais suas funções no mercado de trabalho e qual é o papel da Física na formação e atuação do engenheiro.



Capítulo 2

O PROFISSIONAL ENGENHEIRO E SUA FORMAÇÃO

Voltado para o profissional engenheiro, o capítulo visa apresentar aspectos sobre a identidade desse profissional, suas possibilidades de atuação no mercado de trabalho, sua formação inicial e o currículo proposto por documentos oficiais. Além disso, o capítulo tem o intuito de apresentar alguns trabalhos que discutem sobre a FMC na formação do engenheiro.

2. O PROFISSIONAL ENGENHEIRO E SUA FORMAÇÃO

Desde os primeiros artesãos da pré-história, que cravaram a pedra fundamental da engenharia, muita coisa mudou (BAZZO; PEREIRA, 2006). Diferentemente da Engenharia do passado – aquela em que o homem trabalhava com base na prática transmitida pelos antecedentes, confiando na sua experiência e na sua criatividade –, a Engenharia moderna caracteriza-se, principalmente, pela utilização de conhecimentos das Ciências como a Física, Química, Biologia, Computação, entre outras, na solução de problemas práticos (BAZZO; PEREIRA, 2006; LEMES; REZENDE JUNIOR, 2011), além de cada vez mais preocupar-se com os contextos social, ambiental, econômico e político para que tais soluções favoreçam a sociedade como um todo (CORDEIRO et al., 2008).

O ensino formal de Engenharia remete ao século XVIII, na França, onde surgiram as primeiras escolas com o intuito de formar “corpos técnicos para o estado” (SILVEIRA, 2005, p.13). Essas escolas formavam, num primeiro momento, engenheiros militares destinados às forças armadas e, posteriormente, engenheiros civis, responsáveis por construções como pontes e estradas. A École des Ponts et Chaussées, considerada a primeira escola de ensino formal de Engenharia do mundo, fundada no ano de 1747, em Paris, formava engenheiros que pudessem dominar o conjunto de técnicas já estabelecidas na época, porém sem grande base científica. Mais tarde, em 1795, foi criada a École Polytechnique, na qual o conhecimento construído pelas Ciências começaram a incorporar mais extensamente o currículo, principalmente as aplicações matemáticas aos problemas de Engenharia (OLIVEIRA, 2005; BAZZO; PEREIRA, 2006).

No Brasil, o início do Ensino de Engenharia se concebeu a partir da criação da Real Academia Militar, em 1810, na cidade do Rio de Janeiro. Tal estabelecimento era destinado à formação de oficiais de Engenharia e artilharia, além de engenheiros geógrafos e topógrafos com o encargo de dirigir objetos administrativos de minas, caminhos, portos, canais, pontes etc. (TELLES, 1984). Os cursos na instituição eram baseados na École Polytechnique, de Paris, os quais tinham duração de sete anos e um currículo que já contemplava, além das técnicas, um profundo embasamento científico. A Real Academia Militar é considerada uma das primeiras escolas de Engenharia das Américas, sendo precursora direta da escola de Engenharia da

Universidade Federal do Rio de Janeiro e do Instituto Militar de Engenharia (OLIVEIRA, 2005). A profissão de engenheiro, no entanto, só foi regulamentada no Brasil em 1933, pelo Decreto Federal nº 23.569, o qual regula o exercício das profissões de engenheiro, arquiteto e agrimensor.

Com o passar dos anos, muita coisa mudou no que diz respeito às práticas da Engenharia e a formação de engenheiros. O campo de atuação desse profissional, incluindo seu contexto social e econômico, foi alterado radicalmente, principalmente no final do século XX. Isso se deve ao surgimento de novas tecnologias, da informática, das telecomunicações, das nanotecnologias, que, além de proporcionarem novas ferramentas, alteraram profundamente os processos de trabalho desses profissionais. Com essa mudança no mercado de trabalho dos engenheiros, novos perfis de formação foram sendo exigidos das universidades, abrindo discussões sobre a formação do “engenheiro do futuro”; a necessidade de uma formação de acordo com a situação econômica e o desenvolvimento tecnológico do Brasil – uma formação com foco regional; um currículo marcado por competências e habilidades; a quebra de paradigmas dentro dos cursos de engenharia, tanto no modo de ver a Ciência e a tecnologia como no modo de ensiná-las; entre muitas outras inquietações que abrangem a formação desse profissional.

Em busca de respostas para essas questões, percebemos uma grande preocupação, tanto por parte da academia quanto pelo mercado de trabalho, em discutir e delinear uma melhor formação possível para esse profissional, condizente com a sociedade moderna. Há muitas visões sobre quais conteúdos devem fazer parte do currículo de um curso de Engenharia e quais competências e habilidades devem ser conferidas aos graduandos para que, quando formados, atendam adequadamente à sociedade (SILVEIRA, 2005), além de muitas discussões acerca de como ensinar determinados conteúdos para os futuros engenheiros.

A preocupação com o Ensino de Engenharia gerou o aumento de discussões tanto a nível nacional quanto internacional. Várias sociedades e organizações foram criadas em torno desses temas, entre elas a Associação Brasileira de Ensino de Engenharia (Abenge), Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (Asibe), European Society for Engineering Education (SEFI), American Society for Engineering Education (ASEE), entre

outras, promovendo um grande número de conferências, como os Congressos Brasileiros de Ensino de Engenharia (Cobenge), os congressos da ASEE e as International Conferences on Engineering Education.

Com base nas publicações das associações supracitadas, especialmente as publicações brasileiras, como as atas dos Cobenges, a Revista Brasileira de Ensino de Engenharia (também sob responsabilidade da Abenge), além de livros de professores e especialista da área, buscamos compreender quais as características do profissional engenheiro, o que se espera desse profissional atualmente em nosso País, tanto por parte da universidade quanto do mercado de trabalho, e quais as suas possibilidades de exercícios profissional, além do que diz o currículo norteador para os cursos de Engenharia no Brasil.

2.1 O perfil de formação do engenheiro

Ao discutir sobre os variados perfis de formação encontrados na academia, na sociedade e no mercado de trabalho, Silveira (2005) define primeiramente o conceito do termo “perfil de formação”. Para o autor, o termo significa:

[...] a escolha das características principais a serem perseguidas pela escola na formação dos engenheiros dentro dos *quatro campos*, descrevendo as atividades profissionais, seguida, eventualmente, de uma lista das competências¹⁰ a serem prioritariamente desenvolvidas e dos valores¹¹ defendidos pela escola. (SILVEIRA, 2005, p. 61).

¹⁰ O autor define competência como a capacidade de mobilizar e articular os saberes (ou conhecimentos), as habilidades (ou competências específicas), as aptidões e as atitudes para resolver eficazmente novos problemas, devidamente contextualizados, de forma fundamentada e consciente (SILVEIRA, 2005).

¹¹ Exemplos de valores mencionados pelo autor: ética, determinação, autonomia, humanismo, respeito, humildade, solidariedade (p. 52).

Os quatro campos citados pelo autor, pelos quais serão buscadas as características dos profissionais, dizem respeito às funções exercidas pelo engenheiro, aos tipos e à profundidade dos conhecimentos necessários (desde um treinamento técnico, conhecimento científico, social e gerencial), os saberes relativos a cada modalidade e o escopo da atividade do engenheiro (pesquisa, projeto, administração).

Silveira (2005) complementa que, de forma geral, o perfil de formação do profissional é um “[...] conjunto de objetivos a serem alcançados pela proposta curricular [...]” (SILVEIRA, 2005, p. 61), o qual informa as intenções oficiais da instituição sobre as características do profissional que visa formar.

Buscamos, nesta pesquisa, pelos perfis de formação do atual egresso dos cursos de Engenharia, pois compreendemos que, a partir dessa delimitação e de objetivos traçados para o profissional, é possível compreender porque determinados conteúdos vêm sendo privilegiados em detrimento de outros nos currículos dos cursos, ou ainda, porque alguns conteúdos nem estão presentes, como no caso da FMC.

Inicialmente discutiremos o perfil de formação apresentado pelas Diretrizes Curriculares Nacionais para o Curso de Graduação em Engenharia (DCNCE) e, em um segundo momento, serão apresentadas outras visões encontradas em livros e artigos da área.

2.1.1 O que dizem as DCNCE

O Conselho Nacional da Educação e a Câmara de Educação Superior, segundo a resolução CNE/CES nº 11, de 11 de março de 2002, instituíram as DCNCE, definindo os princípios, os fundamentos, as condições e os procedimentos da formação de engenheiros. Tais diretrizes devem ser aplicadas na organização, no desenvolvimento e na avaliação dos Projetos Pedagógicos dos cursos de graduação em Engenharia das Instituições do Sistema de Ensino Superior (IES) no Brasil.

Segundo esse documento, em seu Art. 3º, o perfil do formando egresso dos cursos de Engenharia, deverá apresentar:

[...] formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitado a absorver e desenvolver novas tecnologias, estimulando a sua atuação crítica e criativa na identificação e resolução de

problemas, considerando seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, em atendimento às demandas da sociedade. (BRASIL, 2002, p.1).

Além disso, as diretrizes relatam sobre a necessidade de embasar a formação do profissional engenheiro com conhecimentos que propiciem o desenvolvimento das seguintes competências e habilidades gerais: aplicar conhecimentos matemáticos, científicos, tecnológicos e instrumentais à Engenharia; projetar e conduzir experimentos e interpretar resultados; conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos; planejar, supervisionar, elaborar e coordenar projetos e serviços de Engenharia; identificar, formular e resolver problemas de engenharia; desenvolver e/ou utilizar novas ferramentas e técnicas; supervisionar a operação e a manutenção de sistemas; avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas; comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica; atuar em equipes multidisciplinares; compreender e aplicar a ética e a responsabilidade profissionais; avaliar o impacto das atividades da Engenharia no contexto social e ambiental; avaliar a viabilidade econômica de projetos de Engenharia; assumir a postura de permanente busca de atualização profissional (BRASIL, 2002).

Com a ideia do desenvolvimento de competências e habilidades, e não mais uma grade de disciplinas com cargas horárias preestabelecidas, as DCNCE trouxeram uma nova concepção de currículo, privilegiando a flexibilidade e a liberdade das IES na elaboração de seus currículos. Substituindo a antiga Resolução nº 48/76 (que fixava os mínimos de conteúdo, duração do currículo e definia as áreas e habilitações), as DCNS se destacam também pela proposta de uma formação que vai além da técnica, trazendo uma formação generalista e humanista, além da motivação da participação mais ativa do graduando em seu processo de formação (CORDEIRO et al., 2008).

Segundo Silveira (2005), as DCNCE passam a impressão de querer formar um profissional “utópico”, frente ao grande número de competências e habilidades propostas para os futuros profissionais. No entanto, o autor defende que o documento apenas visa situar o papel social do engenheiro e sua área de atuação, apresentando características desejáveis e importantes, dentre as quais, as instituições devem assinalar prioridades a fim de definir o perfil de formação que deseja.

De modo geral, concordamos com Machado e Pinheiro (2006), para os quais as DCNCE trazem dois aspectos importantes para o perfil do formando egresso: o profissional e o humanista. O primeiro está relacionado à aquisição de conhecimentos científicos, técnicos e tecnológicos. No segundo aspecto, há um alerta para a necessidade de proporcionar também ao acadêmico de Engenharia uma formação para a cidadania.

Lembrando que nosso intuito ao olhar para as DCNCE foi analisar o que se espera do profissional engenheiro atualmente e se, de alguma forma, podemos relacionar essa perspectiva com o Ensino da FMC nos cursos de Engenharia. Como mencionado anteriormente, a “capacidade de absorver e desenvolver novas tecnologias” e avaliar os impactos do desenvolvimento tecnológico são parte essencial da formação desse profissional. Desse modo, compreendemos que, para que seja alcançado tal aspecto, há uma necessidade de que conhecimentos científicos modernos, como a FMC e suas aplicações tecnológicas, façam parte dos currículos dos cursos de Engenharias.

2.1.2 Uma formação de múltiplos enfoques

Em um levantamento bibliográfico realizado na Revista de Ensino de Engenharia, a qual disponibiliza artigos a partir do ano de 2005, e nas atas dos Cobenges (de 1998 a 2012), encontramos um total de 306 trabalhos que abordavam o tema formação do profissional engenheiro (sendo apenas três publicados na Revista e os demais nas atas dos Congressos). A busca foi realizada pelos termos “perfil de formação”, “currículo das engenharias”, “engenheiro do futuro” e “formação e atuação do engenheiro”. Foram levados em conta, na busca pelos termos, os títulos, os resumos e as palavras-chaves para o caso da Revista, e apenas o título no caso das atas dos Congressos, uma vez que não foi possível o acesso a todos os resumos e trabalhos completos.

Devido ao grande número de trabalhos encontrados, focamos nossa revisão bibliográfica naqueles que discutiam a formação do engenheiro de modo mais abrangente, independentemente da sua modalidade. Assim, foi possível construir uma visão geral sobre aspectos da formação desse profissional.

Em suma, os trabalhos encontrados discutem sobre os desafios e as oportunidades da Educação em Engenharia no Brasil, pensando na formação de um engenheiro que atenda a demanda da sociedade atual,

além de perspectivas para o futuro. Com base nas leituras desses trabalhos, construímos o esquema a seguir (figura 1.3), o qual sintetiza os principais enfoques para a formação dos engenheiros que encontramos nas pesquisas.

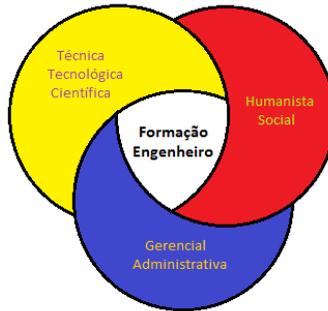


Figura 2.3: Enfoques na formação do engenheiro.

- Formação técnica¹², tecnológica e científica

Como podemos observar, somente a técnica, ou, ainda, a técnica associada aos conhecimentos científicos, não são mais suficientes para o exercício do engenheiro contemporâneo, como por muito tempo acreditava-se ser. No entanto, um bom treinamento técnico associado ao conhecimento científico é indispensável para um bom engenheiro, uma vez que sua atuação no mercado de trabalho exige conhecimentos operacionais, manuseio de ferramentas, de máquinas, pesquisa e desenvolvimento (P&D), o entendimento e desenvolvimento de tecnologias, produto e projetos. Para Bazzo e Pereira (2006), de maneira geral, o trabalho do engenheiro consiste em utilizar dos conhecimentos científicos à solução de problemas práticos. Os autores destacam também a importância dessa base científica na formação do engenheiro, pois, mesmo que as sociedades mudem, técnicas sejam superadas, novas áreas profissionais sejam criadas, “[...] uma boa

¹² Quando mencionamos a importância do conhecimento técnico, ou simplesmente da “técnica”, para a formação do engenheiro, estamos nos referindo não só ao conhecimento tácito, ao “saber como” desvinculado da Ciência, mas também um conhecimento técnico que possui relações e é fruto de conhecimentos científicos.

formação tecnológica é algo duradouro em nossas vidas, e um bom embasamento científico pode contribuir sobremaneira para isso” (BAZZO; PEREIRA, 2006, p.86).

No esquema apresentado anteriormente, não estabelecemos prioridades de formação, apenas representamos os aspectos mais encontrados nas pesquisas estudadas. Silveira (2005), por exemplo, considera que a “formação tecnológica” é a característica essencial na formação do engenheiro, sendo que esta é resultado de todos os outros enfoques e de suas relações. Cada item mencionado, como formação técnica, científica, ética, social e gerencial, constituem essa formação tecnológica (SILVEIRA, 2005), ficando a critério das IES e, em muitos casos, do próprio aluno, escolher qual ênfase buscar para sua formação.

- Formação com enfoque administrativo

Conhecimentos sobre administração, gerência, empreendedorismo e *marketing* também vêm sendo mencionados pelas pesquisas como necessários para um engenheiro que, em geral, assume cargos de liderança depois de alguns anos de profissão, conforme adquire experiência. Além da necessidade do mercado de trabalho, esse tipo de função é muito procurada pelos próprios egressos, uma vez que oferece maiores salários se comparados, por exemplo, com P&D (SILVEIRA, 2005).

Apesar da necessidade desses conhecimentos, para Póvoa e Bento (2005), as atitudes empreendedoras vêm deixando a desejar pelos egressos, no nosso País. Em contraponto, para Silveira e Araújo (2005), é muito difícil desenvolver esse tipo de habilidade, em especial as relacionadas a cargos administrativos, na graduação, uma vez que estas só são adquiridas pelo engenheiro em seu campo de atuação. Segundo o autor, para suprir tal defasagem, cada vez mais se percebe o aumento do número de Mestrado em Administração em Negócios (MBAs) e mestrados profissionais pelas IES no Brasil.

Somados às habilidades de gerência, ressalta-se a importância de um bom relacionamento interpessoal e de habilidades de comunicação (PÓVOA; BENTO, 2005), uma vez que há necessidade de o profissional engenheiro atuar em equipes, negociar com outras empresas, comandar mãos de obra, liderar projetos, entre outros exemplos.

- Formação humanista

Uma formação voltada para elementos relacionados a ética, valores morais e comprometimento com questões sociais – como refletir e avaliar a repercussão das atividades da Engenharia no contexto social e ambiental – também vem sendo apontada como essencial para o profissional engenheiro. As próprias DCNCE trazem como perfil do egresso, entre outros elementos, uma formação generalista, humanista, crítica e reflexiva.

Um elemento que tem contribuído fortemente para essa formação nos cursos da área tecnológica, em especial das engenharias, são os estudos sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Movimento que se iniciou no final da década de 1960 e no início da década de 1970, tanto na Inglaterra como nos Estados Unidos, surgiu a partir da necessidade de se estudar o impacto da Ciência e da tecnologia na vida pública, além de desmistificar o “progresso absoluto” que elas promovem para a sociedade.

A consciência de que o avanço da Ciência e da tecnologia não traz apenas benesses para a sociedade é parte essencial para a formação do profissional engenheiro. A visão clássica das relações entre Ciência e Tecnologia, a qual apresenta um modelo linear de desenvolvimento (mais Ciência = mais Tecnologia = mais riquezas = mais bem-estar social), ainda permeia a sociedade, inclusive com profissionais da área tecnológica. Essa visão essencialista¹³, herdada das bases do positivismo, traz ainda a Ciência e a Tecnologia desvinculadas de interesses, opiniões ou valores sociais, como se ambas fossem atividades neutras (BAZZO; LINSINGEN; PEREIRA, 2003).

Em contra ponto a essa visão clássica das relações entre Ciência e Tecnologia, os estudos CTS:

[...] buscam compreender a dimensão social da ciência e da tecnologia, tanto desde o ponto de vista de seus antecedentes sociais como de suas consequências sociais e ambientais, ou seja, tanto no que diz respeito aos fatores de natureza social, política ou econômica que modulam a mudança

¹³ Concepção na qual a Ciência e a tecnologia possuem autonomia e não sofrem influência social e política. Essa concepção se expandiu logo após a Segunda Guerra Mundial, com o desenvolvimento de computadores eletrônicos, transplante de órgãos, pílulas anticoncepcionais etc. (BAZZO; LINSINGEN; PEREIRA, 2003).

científico-tecnológica, como pelo que concerne às repercussões éticas, ambientais ou culturais dessa mudança. (BAZZO; LINSINGEN; PEREIRA, 2003, p. 125).

Na concepção CTS, a Ciência e Tecnologia são vistas como processo ou produto essencialmente social, na qual subsídios não epistêmicos ou técnicos, como valores morais, interesses profissionais e políticos, convicções religiosas etc., fazem parte tanto da origem como da consolidação das Ciências e dos artefatos tecnológicos (BAZZO; LINSINGEN; PEREIRA, 2003).

No campo da educação, os estudos CTS têm se difundido tanto a nível médio como também a nível superior. A educação CTS defende que seja formado um indivíduo alfabetizado científica e tecnologicamente, para que este possa ser um cidadão participativo nas decisões acerca da Ciência e da Tecnologia que o afetam ou afetam à sua comunidade, podendo manifestar sua opinião, seu direito de voto ou, ainda, que possa simplesmente adquirir produtos da Ciência e da Tecnologia com consciência do que faz em função das opções disponíveis (BAZZO; LINSINGEN; PEREIRA, 2003).

Além disso, por meio dessa alfabetização, o estudante deve ser motivado a buscar informações sobre Ciência e Tecnologia, sendo capaz de refletir, analisar e tomar decisões a respeito dessas informações. Visando uma formação humanista básica aos estudantes de Engenharia e das ciências naturais, a educação CTS pretende desenvolver nos graduandos a sensibilidade crítica acerca das consequências ambientais e sociais do desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia, mostrando uma visão mais realista da natureza social de ambas.

Compreendemos ser de suma importância que haja uma formação na área tecnológica voltada para discussões acerca das questões apontadas anteriormente, buscando mudanças epistemológicas no modo de ver a Ciência e a Tecnologia. Em consonância com uma formação técnica e científica, se faz necessário reflexões sobre as consequências das inovações tecnológicas, procurando novas alternativas para o desenvolvimento tecnológico que não sejam apenas o consumo e o lucro, mas sim a viabilidade de atitudes que possam expandir as benesses da tecnologia para todos os setores da sociedade (BAZZO; PEREIRA, 2011).

Somada a todas essas necessidades para a formação de um engenheiro, está a capacidade de aprender e adaptar-se às constantes transformações. O mercado de trabalho precisa de um profissional em constante atualização, que saiba buscar informações e procure sempre por formação continuada, uma vez que setores de tecnologias estão sempre em transformação (BRASIL, 2002; BAZZO; PEREIRA, 2006).

Completando tudo o que foi dito nesta seção, trazemos um trecho do programa Inova Engenharia¹⁴ (2006), que resume, de certa forma, tudo o que foi trazido. Segundo esse programa, hoje, mais do que nunca, o País precisa de um engenheiro que tenha iniciativa, criatividade, espírito empreendedor, que seja focado em inovação e que busque atualização constante. O profissional deve desenvolver não só habilidades técnicas, mas também

[...] perceber, definir e analisar problemas – de empresas, regiões, setores ou da nação – e formular soluções, para trabalhar em equipe, para se reciclar continuamente ao longo de toda a vida profissional, para fazer uso das tecnologias de informação e para incrementá-las, tanto ampliando suas aplicações, como contribuindo para democratizá-las, aumentando o acesso da população a esses recursos. Os engenheiros são protagonistas na transformação do conhecimento em riqueza e em aplicações práticas de amplo benefício social – na educação, na saúde, nas telecomunicações, nos recursos da educação a distância, etc. Por isso, deve-se ter o cuidado de formá-los também numa perspectiva humanística ampla, que os prepare para pensar os grandes problemas nacionais e os grandes desafios tecnológicos que se colocam para o desenvolvimento do País. (IEL, 2006, p.21).

Além das DCNCE, percebemos que pesquisas mencionadas anteriormente também apontam para a necessidade de uma formação técnica, científica e tecnológica, além de uma formação crítica e

¹⁴ Conjunto de propostas elaborado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) em conjunto com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e o Instituto Eivaldo Lodi (IEL), no ano de 2006, que visa à modernização da Educação em Engenharia no Brasil.

reflexiva, voltada para a cidadania. Destacamos novamente, conforme Bazzo e Pereira (2006), a importância de uma boa base dos conhecimentos das Ciências, incluindo a Física e suas teorias (clássicas e modernas) para a formação do engenheiro.

2.2 Funções de um engenheiro

O campo de atuação de um engenheiro é muito vasto. Para Bazzo e Pereira (2006), esse profissional pode trabalhar como autônomo, empregado ou empresário. De forma geral, o profissional autônomo caracteriza-se pela sua independência e atua, na maioria dos casos, em escritório próprio. O empregado – campo de atuação da grande parte dos profissionais – é aquele que atua diretamente para uma empresa, com a qual mantém um contrato de trabalho, prestando serviços técnicos permanentes ou trabalhando por empreitada, desenvolvendo serviços específicos. Por último, o engenheiro empresário é aquele que é responsável por alguma empresa e que contrata outros profissionais para operá-la.

Segundo Bazzo e Pereira (2006), os engenheiros costumam desempenhar atividades que vão desde a pesquisa básica, na qual se utiliza de muito conhecimento científico e poucos conceitos de administração, até atividades de gerência e administração, em que os profissionais utilizam, a princípio, poucos conhecimentos científicos e muitos conceitos de finanças. Entre a pesquisa básica e a administração, os engenheiros podem passar pela pesquisa aplicada, pelo ensino, pelo desenvolvimento, pelo projeto, pela construção, pela produção, pela operação, pela manutenção, pela consultoria e pela vistoria. Além disso, um engenheiro desempenha as suas funções nos mais diversos locais, como indústrias, bancos de investimento e desenvolvimento, construções, escritórios de profissionais liberais, instituições públicas e privadas, pesquisa básica, estabelecimentos de ensino, escritórios de consultoria, empresas de assessoramento, institutos de pesquisa, entre outros (BAZZO; PEREIRA, 2006).

Silveira (2005) também traz um panorama sobre as atividades profissionais de um engenheiro. Para o autor, as funções desse profissional variam desde a “função técnica de execução”, geralmente desempenhada pelos recém-formados orientados por engenheiros mais experientes, até a de “administrador”, na qual fica a cargo do

profissional tomar decisões de políticas técnicas e financeiras, administrar recursos humanos e relacionar-se com o público. Em meio a esse percurso profissional, o engenheiro pode transitar pelos cargos de “chefe da equipe técnica”, “gerente de estoque”, “engenheiro de chão-de-fábrica”, “gerente técnico” e “administrador técnico”. Além disso, há uma pequena parte dos engenheiros que executa a função de “projetista” que, em níveis mais altos, pode chegar a dirigir equipes ou empresas especialmente dedicadas (SILVEIRA, 2005).

Para o autor, há ainda uma minoria que completa esse quadro de funções, que são aqueles engenheiros contratados como “pesquisadores” em centros de pesquisas, empresas de consultoria, escolas de engenharia e universidades, dedicados ao desenvolvimento de estudos e produtos. Além dos engenheiros que exercem a função de “professor” nas universidades e de “treinador” de equipe nas empresas.

Visto essa gama de funções e propostas para o perfil de formação do engenheiro, vamos analisar nesse momento o que documentos oficiais propõem como currículo dos cursos de Engenharia, para que o egresso esteja preparado para esse vasto mercado de trabalho. Nosso olhar estará mais atento, no entanto, nas recomendações para os conteúdos de Física, em especial se há indicações sobre a FMC, a qual é nosso principal interesse neste trabalho.

2.3 Currículo dos cursos de graduação em Engenharia

O principal documento que norteia o Ensino de Engenharia no Brasil são as DCNCE. Nesse documento, podemos encontrar informações sobre os conteúdos que devem incorporar o currículo, as atividades complementares, a avaliação, o estágio, além de outros aspectos do currículo. Complementando as DCNCE, encontramos a Resolução nº 2, de 18 de junho de 2007, a qual dispõe sobre a carga horária mínima dos cursos de graduação, que no caso das engenharias é de 3.600 horas.

Ao analisarmos as DCNCE, é possível identificar itens obrigatórios para o currículo básico a nível nacional e as especificidades que devem ser consideradas dependendo de cada modalidade específica. Segundo as DCNCE, independentemente da modalidade, a estrutura curricular dos cursos de Engenharia deverá conter um núcleo de conteúdos básicos, um núcleo de conteúdos profissionalizantes e um núcleo de conteúdos específicos que caracterizem a modalidade.

Avaliando, num primeiro momento, o núcleo de conteúdos básicos, identificamos uma lista que contém 15 conteúdos gerais, sendo que todos juntos somarão 30% da carga horária total mínima do curso de Engenharia. Segundo o documento, deverão ser abordados tópicos dos seguintes conteúdos: Metodologia Científica e Tecnológica; Comunicação e Expressão; Informática; Expressão Gráfica; Matemática; **Física**; Fenômenos de Transporte; Mecânica dos Sólidos; Eletricidade Aplicada; Química; Ciência e Tecnologia dos Materiais; Administração; Economia; Ciências do Ambiente; Humanidades, Ciências Sociais e Cidadania.

É importante destacar que não são descritos quais tópicos de cada conteúdo deverão ser abordados, ou seja, em momento algum são indicados quais conteúdos de Física, por exemplo, deverão ser abordados nos cursos, o que ficará a critério de cada IES, estabelecidos em seus Projetos Pedagógicos de Curso. As diretrizes apontam apenas para a obrigação de aulas laboratoriais nos conteúdos de Física, Química e Informática e para a previsão de atividades semelhantes para os demais conteúdos, conforme a necessidade e o enfoque das modalidades pleiteadas.

Para Bazzo e Pereira (2006), as disciplinas de formação básica geralmente estão alocadas no início do curso, pois são elas que fornecem a fundamentação para os estudos técnicos que são vistos mais à frente. Como o trabalho do engenheiro é fundamentalmente o de resolver problemas, se ele souber interpretar de maneira apropriada os fenômenos básicos que os compõem, enquadrando-os em teorias explicativas consistentes, é provável que ele saiba solucioná-los de forma adequada. Além disso, é possível perceber que há recomendações de conhecimentos das Ciências básicas, de administração e de questões sociais, ou seja, todos aqueles conhecimentos relacionados às habilidades mais procuradas pelo engenheiro atual, conforme visto anteriormente.

Para o núcleo de conteúdos profissionalizantes, que somarão 15% da carga horária mínima prevista, as DCNCE listam 53 tópicos gerais, ficando a critério de cada IES definir um subconjunto coerente de tópicos, de acordo com a necessidade de cada modalidade.

O restante da carga horária total (55%) é destinado ao núcleo de conteúdos específicos, que será constituído de extensões e aprofundamentos dos conteúdos profissionalizantes, além de outros conteúdos pertinentes para cada modalidade definidos pela IES.

Segundo as DCNCE, em seu Art. 6º, parágrafo 4º, esses conteúdos “[...] constituem-se em conhecimentos científicos, tecnológicos e instrumentais necessários para a definição das modalidades de engenharia e devem garantir o desenvolvimento das competências e habilidades estabelecidas nestas diretrizes” (DCNCE, 2002, p.3) .

Além das atividades em sala de aula, as DCNCE orientam o estágio curricular, que deverá atingir carga horária mínima de 160 horas, além da obrigatoriedade do trabalho final de curso como atividade de síntese e integração de conhecimento.

2.4 A Física na formação do engenheiro

Um bom Ensino de Engenharia passa por uma boa formação básica científica, e neste contexto, o Ensino de Física é indispensável. A Física continua sendo uma mola propulsora do desenvolvimento científico e tecnológico, desse modo, torna-se uma Ciência indispensável na formação de todos aqueles que pretendem se dedicar a estudo, ensino, investigação e aplicação científica e tecnológica, especialmente aos acadêmicos que ingressam nos cursos de Engenharia e de Tecnologia (MASSON et al., 2005). Segundo Bazzo e Pereira (2006, p. 92), para projetar, construir e operar dispositivos complexos, entre outras funções dos engenheiros, o profissional deverá possuir bons conhecimentos “[...] das leis da Física e da estrutura da matéria, do comportamento dos fluidos, das ligações químicas, da conversão de energia [...]”, além de saber identificar, interpretar, modelar e aplicar esses fenômenos à solução de problemas concretos.

Uma vez que o Ensino de Física é obrigatório na estrutura curricular de todos os cursos de graduação em Engenharia do País e, ao mesmo tempo, não são delineados quais conteúdos deverão ser abordados, pretendemos, neste momento, discutir acerca do Ensino de Física na formação dos engenheiros e nas atividades desses profissionais. Para isso, realizamos uma revisão bibliográfica que englobou a Revista de Ensino de Engenharia (2005 a 2012), as atas dos Cobenges (1998 a 2012) e os seguintes periódicos da área de ensino de Ciências e Ensino de Física: Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências; Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências; Revista Brasileira de Ensino de Física, Ciência e Educação; e Revista Investigações em Ensino de Ciências, a fim de encontrar discussões sobre o Ensino da Física e da FMC nos cursos de Engenharia.

Em relação às atas dos Cobengês, buscamos pelos termos “Física”, “Física Moderna e Contemporânea”, “Física Quântica”, “Relatividade” e “Ensino de Física” nos títulos dos trabalhos. Não pôde ser realizada uma busca mais aprofundada, por palavras-chave, pois não foram disponibilizados todos os trabalhos completos – muitas vezes, apenas os títulos. Na Revista de Ensino de Engenharia, a busca pelos termos levou em conta o título, as palavras-chave e os resumos. Nos demais periódicos, as buscas foram feitas pelos termos “Ensino de Engenharia”, “Engenharia” e “Física no Ensino de Engenharia” nos títulos dos artigos.

Em nossa pesquisa, encontramos um total de 71 trabalhos, sendo que 61 abordam questões sobre o ensino e a aprendizagem de Física nas engenharias, incluindo novas metodologias, avaliação e material didático; e dez trabalhos específicos sobre FMC. Não foram encontrados trabalhos que discutam acerca do papel da Física nas Engenharias, nem trabalhos que discutam sobre o currículo de Física nas Engenharias, o que nos mostra uma lacuna nas discussões sobre o tema nas Engenharias.

Como mencionado anteriormente, grande parte dos trabalhos encontrados discute acerca do processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos de Física, buscando novas metodologias, formas de avaliação, entre outros aspectos que venham favorecer o ensino dessa Ciência, o qual tem sido mencionado como pouco efetivo e responsável pelo distanciamento dos alunos das carreiras científicas e tecnológicas. Compreendemos que esse considerável número de trabalhos é devido aos resultados pouco satisfatórios obtidos nesse processo pelos professores, nas Engenharias. Conforme muito discutido nos textos encontrados sobre o tema, além de visível nas universidades do País, são muitas as dificuldades de aprendizagem de conteúdos de Física nos cursos da área científica e tecnológica. Tais dificuldades podem levar não só a uma defasagem na formação do acadêmico, o qual corre o risco de não adquirir uma formação básica sólida e suficiente para sustentar a sua formação específica, mas também podem levar a uma grande evasão logo nas primeiras fases dos cursos. As dificuldades tanto de caráter conceitual – as quais se manifestam muitas vezes devido às concepções alternativas que os alunos possuem sobre o tema em questão – quanto de caráter matemático remetem, em muitos casos, às dificuldades não superadas na Educação Básica, sendo esta apontada por vários autores como a responsável por parte do insuficiente rendimento dos

graduandos, bem como pela falta de interesse pela carreira de Engenharia (GARCIA et al., 2012; IEL, 2006).

Apesar de existirem alunos que ingressam na universidade sem uma boa base em Ciências, o ensino destas na graduação não favorece, por vezes, que tal base seja solidificada, e nem que o aluno consiga superar tais deficiências. Ao olhar para o Ensino de Engenharia como um todo, percebemos um foco ainda muito grande no professor, restando pouca atenção no aluno, nas suas dificuldades de aprendizagem e nos seus conhecimentos prévios. A Física, sendo parte integrante dessa formação, não foge à regra e se apresenta, muitas vezes, com essas mesmas características. Tais aspectos são percebidos tanto em aulas teóricas como também em aulas laboratoriais, as quais são obrigatórias pelas DCNCE. As práticas laboratoriais de Física, sejam na Educação Básica ou Superior, em geral, se resumem a atividades de observações e medidas com o fim de “testar” uma lei científica, “ver na prática” o que acontece na teoria, com um relatório final como produto, cujo objetivo é chegar à resposta certa (BORGES, 2002).

Todos esses aspectos levam a debates nos mais diversos fóruns de discussão das áreas de Educação em Engenharia e vemos como resultados diversos trabalhos, como os de Machado e Pinheiro (2010); Siqueira e Torres (2010); Villas-Boas e Mossmann (2012), que sugerem diferentes maneiras de ensinar Física aos futuros engenheiros, a fim de mudar esse quadro.

Além das pesquisas brasileiras, chamou-nos a atenção, em especial, a European Society for Engineering Education – um fórum internacional composto por instituições de Ensino Superior, docentes, alunos, associações e empresas relacionadas em 47 países. Criado em 1973, contribui, entre outros fatores, para discutir a formação dos profissionais de Engenharia e melhorar a comunicação entre professores, pesquisadores e estudantes. Essa organização possui um subgrupo intitulado *Working Group on Physics and Engineering Education*¹⁵, o qual reúne físicos que lecionam disciplinas relacionadas à Física para estudantes de Engenharia. Esse grupo tem por objetivo promover discussões sobre o papel e a importância da Física na

¹⁵ As informações sobre o grupo de pesquisa podem ser encontradas no seguinte *site*: <<http://www.sefiphysics.be/>>.

Educação em Engenharia, realizando conferências, *workshops* e seminários para disseminação de trabalhos e discussões sobre o tema.

Em análise a alguns trabalhos disponibilizados pelo grupo nas Conferences on Physics Teaching in Engineering Education, dois artigos nos chamaram mais a atenção (STANKOWSKI, 2007; 2011), pois discutem sobre o papel da Física na formação do engenheiro. Os demais artigos, de forma semelhante aos trabalhos brasileiros, discutiam apenas sobre o ensino e a aprendizagem de Física.

Stankowski (2011) argumenta que há muitos conteúdos importantes de Física que deveriam ser ensinados aos graduandos em Engenharia. No entanto, segundo o autor, mais importante do que aprender uma gama de conteúdos é o aluno aprender o “pensamento físico”. Apesar de haver um consenso entre docentes sobre esse ponto de vista, não é tão claro o que isso significa. Segundo o autor, há um entendimento comum de que o “pensamento físico” envolve: conhecimento e capacidade de aplicar conceitos fundamentais (por exemplo, leis de conservação); capacidade de aplicar métodos formais e pensamento lógico a problemas concretos; capacidade de transitar entre diferentes disciplinas para resolução de problemas; capacidade de realizar estimativas; interpretação de dados (incluindo análise de erros); interpretação de diagramas; conhecimento e habilidade na utilização de instrumentos de medição.

Para o autor, "o pensamento físico" não é tanto um método especial, mas sim uma atitude geral, a capacidade de interpretar o mundo real, seja ele o nosso ambiente, os sistemas técnicos ou os resultados de medição (STANKOWSKI, 2011). Em outra pesquisa, Stankowski (2007) relata que a Física é essencial para construir a visão científica que os estudantes precisam. A Física pode proporcionar aos egressos um olhar científico para o mundo, diferente de um “olhar cotidiano” ou um “senso comum”, adquirido pelas nossas experiências (STANKOWSKI, 2007).

Apesar de esse grupo europeu (SEFI) se dedicar a discussões acerca do Ensino de Física nas Engenharias, não encontramos artigos que discutissem a questão da FMC. Desse modo, entramos em contato com a coordenadora do grupo, via correio eletrônico, e ela confirmou que não é de seu conhecimento trabalhos que abordem essa temática, mas que possui interesse em iniciar estudos nessa área.

2.4.1 O Ensino da Física Moderna e Contemporânea nas Engenharias

Nesse momento da pesquisa, o qual podemos caracterizar como um Estado da Arte, temos por objetivo apresentar os trabalhos encontrados na literatura que discutem sobre a FMC nos cursos de Engenharia. Esse tipo de revisão bibliográfica auxilia a mapear e discutir as produções acadêmicas que abordam um determinado tema, sejam elas teses, dissertações, periódicos e trabalhos publicados em atas de congressos (FERREIRA, 2002).

Após a leitura dos dez trabalhos encontrados (nove publicados em atas de congressos e um em um periódico da área), percebemos que estes se encaixam em três categorias (tabela 2.1).

Tabela 2.1: Trabalhos sobre FMC.

Análise de estrutura curricular	Propostas e relatos de experiências	Aplicações tecnológicas
PERFOLL; REZENDE JUNIOR, 2006	MANINI; DIAS, 2006	SILVA; SAMPAIO; FONSECA, 2011
CUNHA, et al., 2008	SILVEIRA; SANTOS, 2008	
LEMES; REZENDE JUNIOR; CHIARELLO, 2009	BEZERRA JR. et al., 2010.	
LEMES; REZENDE JUNIOR, 2011	LISBOA; PIQUEIRA, 2011	
	RODRIGUES; PIETROCOLA; PIQUEIRA, 2012	

- **Análise de estrutura curricular:** trabalhos com enfoque na análise de currículos de cursos de Engenharia na busca por elementos de FMC. Foram encontradas duas análises a nível nacional, uma a nível estadual e outra a nível local.

- **Propostas e relatos de experiências:** trabalhos que apresentam tanto propostas de atividades de FMC para disciplinas de Física em cursos de Engenharia quanto relatos de experiências vivenciadas, discutindo os resultados obtidos.

- **Aplicações tecnológicas:** trabalhos que trazem aplicações tecnológicas decorrentes da FMC, sem fazer apontamentos para o Ensino de FMC. A seguir, apresentamos uma breve descrição dos trabalhos/artigos encontrados sobre a FMC nos cursos de Engenharia.

Os dois primeiros trabalhos foram encontrados nas atas do XXXIV Cobenge, no ano de 2006. O primeiro deles, intitulado de “A Física Moderna e Contemporânea e o ensino de engenharia: contextos e perspectivas” (PERFOLL; REZENDE JUNIOR, 2006), traz um panorama da presença desses conteúdos em 161 cursos de Engenharia do País (cerca de 10% do total de cursos na época). A pesquisa mostra que, dos 77 cursos analisados da rede pública, 73% apresentaram FMC em seus currículos. A porcentagem não é tão elevada para os cursos da rede privada, pois, dos 84 cursos analisados, apenas 52% apresentaram FMC em seus currículos. Os autores também realizaram uma comparação entre os cursos das diferentes regiões do País. O Sul e o Sudeste foram as regiões onde a maior parte dos cursos apresentaram FMC em seus currículos, correspondendo a 76% e 55% respectivamente. Para os autores da pesquisa, uma formação que exclua os conhecimentos da Física construída a partir do século XX pode contribuir apenas para formação de profissionais consumidores de tecnologias, não os capacitando para o desenvolvimento tecnológico atual. Além do mais, como a FMC aparece cada vez mais em produtos tecnológicos que utilizamos em nosso cotidiano, é evidente os interesses do mercado nessas tecnologias, requerendo profissionais que estejam capacitados a desenvolvê-las.

O segundo trabalho encontrado recebe o título de “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”. Manini e Dias (2006), autores do trabalho, defendem que todo o desenvolvimento tecnológico que ocorreu graças aos conhecimentos denominados como Física Moderna¹⁶ já justifica e revela a importância da inclusão desses conteúdos no Ensino de Física na Educação Superior em Ciências e, principalmente, em Engenharia. Os autores relatam que a falta de um estudo adequado sobre a Física Moderna nas disciplinas básicas de Física conduz o aluno a uma visão fragmentada dos fenômenos quânticos, como foi observado pelos autores em estudantes

¹⁶ Foram mantidos os termos utilizados pelos autores dos trabalhos. Em alguns casos, aparecem FMC, assim como utilizamos ao longo da pesquisa, noutros apenas Física Moderna.

da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e em alunos da Faculdade de Engenharia da Fundação Santo André. Segundo Manini e Dias (2006, p. 5), frequentemente os futuros egressos não conseguem relacionar o “[...] conhecimento da teoria dos orbitais, das distribuições eletrônicas e das ligações químicas, vistas nas disciplinas de química, com a teoria de condução de buracos e elétrons num semicondutor nas disciplinas de eletricidade, por exemplo”. Para os autores, quando os alunos não estabelecem essa conexão, adquirem uma visão limitada dos fenômenos, se distanciando de uma formação generalista e ampla que se espera. Além de necessária a inserção da Física Moderna nos cursos de Engenharia, os autores verificaram que esta funciona como fator de motivação por si mesma, tanto para professores como para alunos. No entanto, para que isso seja possível, Manini e Dias (2006) alertam para a necessidade de reestruturação das grades curriculares, acoplando conteúdos clássicos a outras disciplinas, por exemplo. Os autores comentam que conceitos de Relatividade vêm sendo inseridos na disciplina de Física para Engenharia II, além de conceitos de FQ e Física Atômica na disciplina de Física para Engenharia IV, nos casos dos cursos da USP. Por fim, os autores justificam que, devido à rapidez da evolução tecnológica, é impossível de se contemplar tudo o que há em Ciência e Tecnologia durante um período de quatro a seis anos de formação superior. Desse modo, um núcleo conceitual básico sólido e atual, principalmente em disciplinas básicas como a Física, funciona como elemento facilitador do processo de atuação e atualização profissional.

O terceiro trabalho intitulado de “A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia do estado de Minas Gerais”, de Cunha et al. (2008) e publicado nas atas do XXXV Cobenge, apresenta uma análise dos currículos de 84 cursos de Engenharia do Estado de Minas Gerais. Entre os resultados obtidos, destaca-se a pequena porcentagem da FMC presente nos cursos – em média 0,5% da CH total do curso e 6% da CH das disciplinas de Física. Quando os conteúdos de FMC se faziam presentes, estes foram encontrados em disciplinas que tinham outros enfoques, como Ondas e Óptica, não havendo exclusividade para esses conteúdos. Para os autores, apesar de a FMC já se fazer presente nos currículos dos cursos, destina-se a ela uma parcela muito pequena de tempo.

O trabalho de Silveira e Santos (2008), também publicado no XXXV Cobenge e que recebe o título “Física Moderna na formação

profissional contemporânea em Engenharia”, descreve um curso de Física Moderna oferecido aos graduandos de Engenharia Química e Engenharia de Materiais, o qual utiliza de organizadores prévios¹⁷, recursos da tecnologia da informação e comunicação e o caráter investigativo em laboratório. Os autores relatam que, até o ano de 2003, o Centro Universitário da FEI (local onde foi desenvolvido o curso) oferecia uma única disciplina de Física Moderna para os alunos dos cursos de Engenharia, independentemente da modalidade (Civil, Elétrica, Materiais, Mecânica, Produção, Química e Têxtil). No entanto, à medida que esses conhecimentos se tornavam cada vez mais necessários para o exercício profissional do engenheiro, sentiu-se a necessidade de criar disciplinas de Física Moderna que levassem em conta as especificidades de cada modalidade. Desse modo, foram criadas três disciplinas distintas: Princípios e Aplicações da Física Moderna para as Engenharias Química e de Materiais (na qual foi desenvolvido o curso apresentado no trabalho); Princípios de Física Moderna para as Engenharias Civil, Mecânica, Produção e Têxtil; e, por fim, Física Moderna para Engenharia voltada à Engenharia Elétrica. Apesar de não apresentarem as ementas das disciplinas criadas, os autores fazem menção à dinâmica da disciplina do curso de Física Moderna para a Engenharia Química e de Materiais, os quais intercalam uma aula expositiva e uma aula laboratorial de FMC.

No XXXVII Cobenge, realizado em 2009, foi encontrado apenas um trabalho que abordasse o tema em questão. Com o título “A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia da Universidade Federal de Itajubá-MG”, dos autores Lemes, Rezende Junior e Chiarello (2009), o trabalho analisa a dimensão dos conteúdos de FMC no currículo de sete cursos de Engenharia da Universidade. Os resultados foram semelhantes àqueles encontrados por Cunha e Rezende Junior (2008), no qual a FMC corresponde a somente cerca de 7% da CH da Física básica do curso. Além disso, foi constatado que uma das modalidades (Controle e Automação) não apresenta nenhum conteúdo de FMC em seu currículo. Os autores advogam que tal abordagem da FMC é insuficiente para a formação de profissionais engenheiros, apontando a necessidade de fortalecimento das bases científicas dos cursos de Engenharia do Brasil.

¹⁷ Material elaborado com o intuito de preparar a estrutura cognitiva do estudante para fazer conexões entre os conceitos já adquiridos e aqueles que deverão ser adquiridos (SILVEIRA; SANTOS, 2008).

Em 2010 (XXXVIII Cobenge), foi encontrado novamente apenas um trabalho que abordasse o tema da FMC nos cursos de Engenharia. O trabalho “Inovações no ensino de Física Moderna nos cursos de engenharia da UTFPR”, de Bezerra Jr. et al. (2010), apresenta um relato de experiências vividas na disciplina de “Física 4”, na qual os graduandos têm seu primeiro contato com a Física Moderna nos cursos de Engenharia. Os autores trazem um panorama de como as disciplinas de Física são geralmente organizadas nos cursos de Engenharia no Brasil. Ou seja, inicia-se com “Física I”, disciplina na qual os alunos têm contato com a Mecânica Newtoniana, em seguida, “Física II”, destinada aos conceitos de Termodinâmica, “Física III”, na qual estão alocados os conteúdos de Eletromagnetismo Clássico e, por fim, “Física IV”, que engloba conteúdos de Óptica Geométrica, Óptica Física e também Física Moderna. Mesmo a FMC aparecendo, por vezes, na formação do engenheiro, os autores se mostram insatisfeitos com a maneira como esta vem sendo inserida nos cursos de Engenharia, pois, além da pouca carga-horária destinada a esses conteúdos, não é comum uma discussão sobre questões pedagógicas de como abordar tais conteúdos da forma mais adequada, não somente seguindo os livros de Física básica.

Para Bezerra Jr. et al. (2010), é comum professores comentarem com seus alunos sobre a importância da Física Moderna, em especial a FQ, nas aplicações tecnológicas atuais, no entanto, negligenciam a ligação entre as teorias e suas aplicações tecnológicas, focando suas aulas apenas no que hoje se denomina de “velha MQ” (como o átomo de Bohr, o átomo de Sommerfeld, além do tratamento inicial dado aos efeitos fotoelétrico e Compton). Abordar esses elementos da Física Moderna também é importante para os alunos compreenderem as limitações da Física Clássica e os impasses que levaram à formulação de novas teorias, porém não é cauteloso que se pare por aí, mas sim que leve ao graduando discussões da FQ tal como ela foi formulada a partir da década de 1930 (BEZERRA JR et al., 2010). Esses autores trazem, então, o relato das experiências vividas em três semestres na disciplina de “Física 4”, na qual foi realizada uma nova proposta para o Ensino de Física Moderna. A disciplina que é iniciada a partir da questão “o que é luz, afinal?”, parte das quatro equações de Maxwell, demonstrando a equação de ondas tanto para o campo elétrico quanto para o campo magnético. Tratando a luz como uma onda, são estudados os fenômenos de interferência e difração. Após uma discussão sobre o experimento

que constata a velocidade da luz como constante (experimento de Michelson e Morley), chega-se ao estudo da RR e as novas compreensões de tempo e espaço. Ainda nessa disciplina, é estudada a interação da luz com a matéria, chegando a uma teoria para estrutura da matéria, baseada na FQ.

Tal proposta envolve também, entre outras iniciativas, a contextualização e aplicação desses conhecimentos e a utilização das tecnologias de informação e comunicação para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem. Como resultado de um novo modelo para a disciplina, os autores apontam os itens a seguir.

- Melhor rendimento acadêmico: reduziram em 30% as reprovações dos estudantes.

- Maior interesse dos graduandos pela disciplina: tanto pelo número de matriculados em turmas com essa nova proposta quanto em discussões em sala de aula.

- Aumento da associação por parte dos estudantes da Física Moderna com o curso de Engenharia escolhido: ao final da disciplina, foi proposto aos alunos que apresentem um seminário que relacione tópicos estudados de Física Moderna e aplicações relacionadas ao curso de Engenharia que estão cursando. entre alguns exemplos, os alunos da modalidade Mecânica apresentaram um seminário sobre o uso de difração de raios-X para o estudo de nanofraturas em processos de usinagem; alunos da modalidade Civil abordaram aspectos semelhantes no estudo da manutenção preventiva em estruturas de concreto; alunos da Engenharia Eletrônica discutiram sobre os dispositivos da eletrônica do estado sólido; e na modalidade de Computação foram apresentados seminários sobre a criptografia quântica e a importância da correção relativística na sincronização dos relógios dos satélites no sistema GPS. Por fim, Bezerra Jr. et al. (2010, p. 8) concluem que é viável discutir Física Moderna e suas aplicações tecnológicas com estudantes de Engenharia e que estes consigam relacionar esses conhecimentos com a profissão que escolheram. Além disso, para os autores, ensinar Física Moderna “[...] já passa da hora de tornar-se uma experiência prazerosa e cognoscível para os estudantes de engenharia”.

Em 2011, nas atas do XXXIX Cobenge, foram encontrados dois trabalhos que abordavam o tema da FMC. O primeiro deles, que recebe o título de “Avanço Científico e Revolução Tecnológica: um estudo da contribuição da Física Quântica aplicada à engenharia Civil”, dos autores Silva, Sampaio e Fonseca (2011), apresenta uma série de

exemplos que revelam o quanto a FQ contribuiu para o desenvolvimento da Engenharia Civil. Segundo os autores, a possibilidade de se manipular estruturas moleculares em laboratório, obtendo-se, assim, propriedades mecânicas necessárias, vem a contribuir muito para a criação de novos materiais, os quais se buscam cada vez mais utilizar na Engenharia Civil. Entre os exemplos tecnológicos citados pelos autores, destacamos o microscópio de tunelamento, a difração de raios-X, e os nanocompósitos, como nanotubos de carbono. O segundo trabalho recebe o título de “A disciplina Teoria Quântica da Informação: experiência de criação e oferecimento no programa de pós-graduação em engenharia Elétrica da EPUSP”, de Lisboa e Piqueira (2011). Os autores relatam que, de forma geral, os conteúdos de Física tratados nos cursos de Engenharia Elétrica do País são oriundos da segunda metade do século XIX, não preparando os futuros egressos para os desafios tecnológicos do século XXI. Além disso, quando se fazem presentes conteúdos de FMC, estes se limitam a noções de RR, além de um grande foco nos primórdios da MQ, como: quantização da emissão de radiação de corpo negro; o efeito fotoelétrico; a hipótese de Bohr sobre a estrutura atômica; o espalhamento Compton; a teoria de De Broglie sobre dualidade partícula-onda para o elétron; noções sobre o Princípio de Incerteza de Heisenberg; e, por fim, um tratamento bastante elementar da equação de Schrödinger.

Segundo Lisboa e Piqueira (2011), muitos engenheiros eletricitas, eletrônicos e de computação haverão de se defrontar com tecnologias fortemente baseadas em conhecimentos avançados de MQ, especialmente naqueles que dizem respeito ao processamento de Informação Quântica e/ou Computação Quântica. Em meio a esse contexto, os autores relatam a experiência de criação e o oferecimento de uma disciplina – Teoria Quântica da Informação – tendo em vista proporcionar aos alunos de pós-graduação um ferramental básico teórico que possam empreender em futuras pesquisas. Os conteúdos trabalhados nessa disciplina, lembrando que esta é de nível de pós-graduação, englobam inicialmente discussões de caráter geral sobre Informação Quântica e diferença conceitual de estados físicos na Mecânica Clássica e na MQ, abrangendo, numa segunda etapa, a introdução dos construtos teóricos básicos, como a descrição de estados quânticos por vetores duais (“kets” e “bras”) definidos no Espaço de Hilbert; princípio de superposição de estados, bases, amplitudes de probabilidade, entre outros.

Por fim, o último trabalho encontrado foi nas atas do XL Cobenge e recebe o título de “Elaboração de uma Sequência Didática de ensino-aprendizagem com tópicos de Mecânica Quântica para cursos de engenharia”, de Rodrigues, Pietrocola e Piqueira (2012). O trabalho apresenta o delineamento de uma sequência didática que aborda tópicos de Física Moderna necessários para o entendimento da interface “computação clássica x computação quântica”. Segundo os autores, tal proposta se aproxima mais das modalidades Computação, Elétrica e Telecomunicações, e alguns conteúdos que podem ser abordados são os seguintes: início da computação quântica; descrição do mundo pela FQ; do experimento de Young à Mecânica Ondulatória; a dupla fenda; incerteza de Heisenberg e o princípio da complementaridade; amplitude de probabilidade; fundamentos quânticos para a computação quântica; sistemas, estados quânticos e graus de liberdade; princípio da superposição quântica, entre outros.

A proposta pretende ainda atingir alunos das fases iniciais dos cursos de Engenharia, por isso, segundo os autores, utiliza de um ferramental matemático básico de álgebra linear. Os autores objetivam que a sequência didática possa servir como laboratório de inovação e atualização curricular dos cursos de Engenharia.

Em consulta à revista da Abenge, encontramos um único artigo que aborda o Ensino da FMC nas Engenharias. O trabalho dos autores Lemes e Rezende Junior (2011) faz uma análise estatística, na qual se utilizou o procedimento de amostragem estratificada do currículo de 520 cursos do Brasil. Os resultados apontados pelos autores são semelhantes a outros já mencionados nesta seção, ou seja, a CH de FMC nos cursos se mostra pequena e insuficiente (em média 40 horas-aula durante todo o curso) para a formação de um engenheiro do século XXI, o qual deve estar capacitado a acompanhar o desenvolvimento tecnológico atual.

De modo geral, os trabalhos anteriores apresentados brevemente apontam para a importância da presença dos conteúdos de FMC nos cursos de Engenharia. No entanto, grande parte dos trabalhos não indicam quais conteúdos podem ser abordados e em quais modalidades. O que percebemos é uma forte tendência aos conteúdos de MQ, não restringindo somente às primeiras teorias (ou “velha MQ”), mas uma discussão que envolva os conceitos e uma abordagem um pouco mais profunda acerca da estrutura da matéria. Em relação às modalidades, aquelas que se fizeram mais presentes foram Elétrica, Eletrônica e

Computação, devido às proximidades entre os conhecimentos de FMC e as tecnologias presentes na atuação de profissionais dessas áreas.

Um segundo fator de destaque na análise dos trabalhos foram as principais justificativas apresentadas pelos autores para a inserção de FMC nos cursos de Engenharia. A maior parte dos trabalhos defende o Ensino de FMC especialmente para preparar os engenheiros para desenvolver tecnologias e competir com o cenário internacional. Nesses trabalhos, os autores acreditam que os engenheiros precisam estar aptos a desenvolver tecnologias, a fim de gerar riquezas para o País. A importância da FMC para o entendimento e o acompanhamento de tecnologias atuais a fim de formar um profissional apto a compreender e julgar os benefícios e malefícios do desenvolvimento tecnológico acabou ficando em segundo plano nos trabalhos. A busca pelo desenvolvimento tecnológico ganhou destaque nos relatos dos autores. Houve também um trabalho que defendeu a inserção da FMC como fator de motivação para os alunos nas aulas de Física.

Por fim, um terceiro fator que nos chama a atenção é que praticamente todos os trabalhos/artigo foram escritos por pesquisadores com formação em Física, salvo exceções em que engenheiros participaram como autores secundários. Apenas um trabalho encontrado foi elaborado somente por engenheiros. Isso nos mostra uma iniciativa maior dos professores de Física na discussão sobre a FMC nos cursos de Engenharia. No entanto, compreendemos que tal iniciativa deve estar cada vez mais atrelada aos professores com formação em Engenharia, pois são eles, na maior parte dos casos, que estão por trás da elaboração e aprovação dos currículos dos cursos, refletindo acerca da formação dos engenheiros. Caso a pretensão seja de que esses estudos sobre FMC reflitam de fato nos cursos de Engenharia, acreditamos na necessidade de cada vez mais partilharmos tais reflexões com os professores engenheiros por formação.

Fica evidente, neste momento, que já existe uma preocupação por parte de alguns formadores e universidades de que esses conhecimentos façam parte da formação acadêmica dos futuros engenheiros. No entanto, não encontramos pesquisas que tenham um delineamento semelhante ao nosso, ou seja, que buscam discutir com engenheiros que atuam em indústria e formadores se esses conhecimentos, de fato, são importantes atualmente para esses profissionais e porque se fazem tão pouco presente nos currículos dos cursos.

Apesar de o nosso foco em pesquisas brasileiras – uma vez que buscamos compreender a importância da FMC para o profissional engenheiro em nosso País – apresentamos, a seguir, três trabalhos (dois norte-americanos e um colombiano) com o intuito de mostrar que tal preocupação – inserir FMC nos cursos de engenharia – abrange também outros países.

O primeiro deles remete às considerações de uma mesa redonda realizada com professores norte-americanos em 1994, publicadas no *Journal of Engineering Education*¹⁸, as quais já chamavam a atenção para os conteúdos de FMC nos currículos da Engenharia. Para esse grupo, tais conteúdos – que influenciam fortemente a prática da Engenharia – mal são comentados nos cursos. Para os professores, a FMC, incluindo uma introdução à Física Nuclear ou à Física do Estado Sólido, deve ser uma parte dos currículos de graduação de Engenharia. Para que isso seja possível, as disciplinas de Física necessitam de uma nova orientação, tentando reorganizar os conteúdos de forma que o aprendizado seja mais efetivo.

Para McKagan, Perkins e Wieman (2006), ao contrário da Física introdutória, em que há um conjunto bem definido de temas sobre os quais a maioria dos especialistas concorda em abordar nos cursos de Engenharia, não há um consenso geral sobre o que deve ser ensinado nas classes mais avançadas, em especial sobre a FMC. Com o intuito de reformular uma disciplina de FMC para alunos da Engenharia, os autores entrevistaram sete docentes de Física da Universidade do Colorado (USA) sobre quais seriam, na opinião deles, os conceitos mais importantes relacionados à FMC a se ensinar para os cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica. Em geral, os professores concordaram que o estudante de Engenharia precisa saber sobre as aplicações da MQ, como dispositivos eletrônicos, *lasers*, microscópio de tunelamento e ressonância magnética, além de ter conhecimento sobre a origem quântica da ligação molecular e da estrutura da matéria. No entanto, os professores alegaram que seus alunos da Engenharia não precisam saber sobre a Relatividade Especial, principalmente pelo formalismo matemático apresentado.

Niño, Herrera e Gómez (2006) alertam para o fato de que a Física ensinada nos cursos de Engenharia é aquela construída antes de 1900 e hoje, após 100 anos do início da MQ, esse assunto não é

¹⁸ Disponível em: <<http://www.jee.org/1994/january/192.pdf>>.

abordado por ser considerado “abstrato” e exigir um sofisticado tratamento matemático. Para os autores, o engenheiro moderno não precisa apenas dos conhecimentos advindos da Ciência clássica, mas também da Ciência moderna, em especial da MQ. Como novos conhecimentos e técnicas surgem rapidamente, os profissionais de hoje devem ser preparados para atender às necessidades futuras, e não apenas as de hoje (NIÑO; HERRERA; GOMÉZ, 2006). Com essas três pesquisas já é possível observar uma preocupação com o Ensino da FMC nas Engenharias também em outros países, nos quais principalmente os conteúdos de MQ se destacam como necessários para a atuação do engenheiro.

Tendo em vista o panorama estabelecido com este capítulo do trabalho, destacamos alguns elementos importantes. Em primeiro lugar, a relação do profissional com as tecnologias: mesmo que hoje se espere do engenheiro um profissional de múltiplos enfoques, um bom conhecimento de Ciência básica e suas implicações tecnológicas devem fazer parte da sua formação e, para isso, a Física é essencial nesse processo. Vimos também as várias funções que um engenheiro pode assumir no mercado de trabalho, entre elas àquela relacionada com P&D, na qual compreendemos que necessitaria um maior conhecimento de Física, Cálculo e Química, por exemplo, incluindo FMC. No entanto, são poucos os profissionais que buscam tal atuação, pois, além de ser pouco ofertada, o salário pode ser inferior a outros cargos, como os de gerência (SILVEIRA, 2005). Um terceiro ponto são as DCNCE que, por um lado, apontam a obrigatoriedade de conteúdos de Física nos currículos dos cursos de Engenharia e, por outro, não indicam quais conteúdos devem ser abordados, ficando a critério das IES. Ou seja, visto a tradição da Física Clássica nos currículos e nenhum direcionamento em relação à FMC, não é surpresa que esses elementos sejam ausentes em muito dos currículos de Engenharia pelo Brasil. No entanto, na última seção, nos deparamos com um conjunto de trabalhos que já demonstram tal preocupação para que esses conteúdos estejam presentes na formação do profissional engenheiro.



Capítulo 3

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os caminhos percorridos ao longo da pesquisa a fim de alcançar os objetivos propostos. São descritas as características da investigação, os sujeitos de pesquisa e o contexto no qual estão inseridos, além dos instrumentos elaborados e utilizados para coleta de dados.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Apresentamos, nesse capítulo, o percurso metodológico da pesquisa. Inicialmente abordamos as características da investigação, seguidas pelos instrumentos para coleta e análise de dados, além da apresentação da escolha da amostra.

3.1 Caracterizando a pesquisa

Para entender a importância dos conteúdos de FMC para a formação de engenheiros e a relação desses conhecimentos com a prática da Engenharia, compreendemos que a pesquisa de natureza qualitativa é a que apresenta características que melhor se adequam ao trabalho proposto.

Originária da Antropologia e Sociologia, a pesquisa qualitativa surgiu a partir da necessidade de expressar informações sobre povos e culturas que não podiam ser quantificadas e precisavam de uma interpretação muito mais ampla do que dados estatísticos podiam oferecer (TRIVIÑOS, 1987). Com o objetivo de aprofundar a compreensão dos fenômenos que investiga a partir de uma análise rigorosa e criteriosa das informações coletadas, a investigação preza por “[...] valorizar argumentos qualitativos, movendo-se do verdadeiro para o verossímil, daquilo que é provado por argumentos fundamentados na lógica formal para o que é fundamentado por meio de uma argumentação dialética rigorosa” (MORAES, 2003, p. 201).

Algumas características desse tipo de pesquisa são apresentadas por Bogdan e Biklen (1994), entre as quais destacamos o enfoque maior da pesquisa no processo do que no produto; a maioria dos dados coletados são descritivos e obtidos no contato direto do pesquisador com a situação estudada; a análise dos dados tende a ser de forma indutiva; e aborda com extrema importância o significado que as pessoas dão às suas vidas, preocupando-se em retratar a perspectiva dos participantes.

Além disso, visto que o nosso tema de pesquisa ainda é pouco abordado pelos pesquisadores da área, tornando difícil, até mesmo, a elaboração de hipóteses precisas, compreendemos, que essa investigação tem um caráter exploratório. Conforme afirma Triviños (1987), um estudo exploratório auxilia o pesquisador a solucionar e/ou aumentar sua expectativa em função do problema estudado.

Para atingir os objetivos da pesquisa, foram utilizados como instrumentos de pesquisa a análise documental, a qual nos auxiliou na análise de currículos de cursos de Engenharia, e as entrevistas semiestruturadas, as quais nos permitiram identificar as concepções de formadores e engenheiros em atuação. A seguir, serão descritas tais ferramentas juntamente com a delimitação da amostra.

3.1.1 Análise documental

Um dos nossos objetivos de pesquisa é a análise da presença de conteúdos de FMC nos currículos dos cursos de Engenharia da UFSC e UNIFEI. Para a realização desta etapa da pesquisa, utilizamos como instrumento de coleta de dados a análise documental, a qual se constitui como uma técnica valiosa de abordagem de dados qualitativos, buscando identificar fatos nos documentos a partir de questões ou hipóteses de interesse (LUDKE; ANDRÉ, 1986). Nesse método de pesquisa, é considerado como documento qualquer informação contida na forma de textos, sons, imagens, além de informações orais, como aulas e exposições, desde que transcritas para suporte material (CHIZZOTTI, 1995). Os documentos contêm informações, indicações e esclarecimentos que permitem explicitar determinadas questões e servir de prova para outras, de acordo com os objetivos da pesquisa.

Algumas vantagens de se utilizar a análise documental em detrimento de outros métodos são a possibilidade de consulta mais de uma vez; a fundamentação de afirmações e declarações; e o fornecimento de informações sobre um determinado contexto (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

Em nossa pesquisa, os documentos analisados foram os currículos de 23 cursos de Engenharia, sendo 12 destes da UFSC e 11 da UNIFEI (a delimitação da amostra está justificada na seção 3.2 do trabalho). Os resultados dessa etapa da pesquisa – a análise documental –, além de nos propiciar conhecer se conteúdos de FMC têm sido trabalhados e quais destes são privilegiados nos currículos analisados, nos auxiliaram a questionar os formadores de ambas as universidades sobre a importância desses conteúdos para a formação e atuação de engenheiros.

3.1.2 Entrevista semiestruturada

O enfoque central da nossa pesquisa é analisar as concepções de formadores e engenheiros em atuação sobre a importância da FMC na formação e atuação desses profissionais. Para tal, escolhemos como instrumento de coleta de dados a entrevista, por acreditar que esta nos proporciona uma interação desejável com nossos sujeitos de pesquisa, o que nos permitirá identificar tais concepções. Além disso, segundo Lüdke e André (1986), a entrevista representa uma das formas básicas de se coletar dados dentro da perspectiva da pesquisa qualitativa.

Optamos, também, pela entrevista do tipo semiestruturada, a qual, segundo Triviños (1987), parte de algumas questões preestabelecidas, apoiadas em teorias e hipóteses do pesquisador, mas que também oferece espaço para novos questionamentos, com base em hipóteses que vão surgindo à medida que se recebe as respostas dos entrevistados.

Foram elaborados dois roteiros distintos para guiar as entrevistas: um destinado aos engenheiros (anexo 1) e outro aos formadores de cursos de Engenharia (anexo 2). As entrevistas foram gravadas em áudio e posteriormente transcritas para análise. Por questões éticas, os participantes da pesquisa assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (anexo 3), o qual explica os objetivos da pesquisa e garante sigilo da sua identidade.

3.1.3 Questionários e entrevistas piloto

Com o objetivo de testar nosso instrumento de coleta de dados – o protocolo da entrevista – realizamos dois questionários e duas entrevistas piloto. Os questionários foram, num primeiro momento, uma opção de coleta de dados, uma vez que foi difícil o acesso aos engenheiros que atuam em indústrias. O resultado, no entanto, não foi satisfatório, pois as respostas foram muito vagas, não atendendo aos nossos objetivos. Dessa maneira, intensificamos a busca por sujeitos de pesquisas que pudessem nos conceder uma entrevista. Foram realizadas duas destas, sendo uma delas em uma indústria na cidade de Joinville (SC), e uma segunda em uma indústria na cidade de Itajubá (MG). As entrevistas foram realizadas no local de trabalho dos engenheiros, com hora e local marcados previamente. Com os resultados dessas

entrevistas, foi possível validar nosso instrumento de coleta de dados e dar continuidade à nossa pesquisa.

3.2 Amostras

Para delimitar quais os cursos de Engenharia, formadores e engenheiros atuantes na indústria fariam parte da nossa investigação, tivemos de definir primeiramente qual o ambiente em que estes estão inseridos.

No que concerne aos cursos analisados, optamos por aqueles oferecidos pelo Centro Tecnológico (CTC) da UFSC e pela UNIFEI (*campus* Itajubá). Foram analisados os currículos de 23 cursos de Engenharia, sendo 12 da UFSC e 11 da UNIFEI. Optamos, também, por entrevistar formadores que atuam nessas instituições. Para as entrevistas, no entanto, escolhemos apenas formadores das seguintes modalidades: Elétrica/Produção Elétrica, Eletrônica e Materiais. A opção por essas modalidades se deu por dois principais motivos: a proximidade desses cursos com tecnologias provenientes da FMC, como semicondutores, transistores e nanotecnologias, além dos incentivos do Governo Brasileiro para que o desenvolvimento de tais tecnologias seja incorporado ao cenário tecnológico nacional, havendo, assim, maior necessidade de profissionais com uma formação que englobe esses conhecimentos. Os critérios de escolha dos dez formadores que participaram da pesquisa (cinco que atuam na UFSC e cinco que atuam na UNIFEI) foram os seguintes: (i) atuar na modalidade Elétrica ou Eletrônica ou Materiais; (ii) ser engenheiro por formação; (iii) disponibilidade em participar das entrevistas. Optamos por docentes com essa formação, pois gostaríamos de entrevistar um profissional que tivesse maior contato com o universo da Engenharia, com a formação do engenheiro e sua atuação no mercado de trabalho. Desse modo, poderia melhor contribuir para os objetivos de pesquisa.

No que diz respeito aos engenheiros que atuam em indústrias, escolhemos quatro egressos da UFSC que atuam em uma empresa na cidade de Joinville – Santa Catarina (SC), além de quatro egressos da UNIFEI que atuam em empresas da cidade de Itajubá (MG). Os critérios adotados para escolha dos engenheiros foram os seguintes: (i) formação em Engenharia Elétrica/Produção Elétrica ou Eletrônica ou Materiais; (ii) ser egresso da UFSC ou UNIFEI; (iii) disponibilidade em participar das entrevistas.

3.2.1 Empresas

Ao todo, foram entrevistados engenheiros que atuam em cinco empresas diferentes. Em relação aos egressos da UFSC, optamos por aqueles que atuam em uma única empresa, a qual denominados de Empresa X. Como será explicitado a seguir, essa empresa possui parceria com a UFSC, facilitando o encontro de profissionais egressos dessa Universidade. Não tivemos, no entanto, a mesma facilidade de encontrar egressos da UNIFEL, o que nos levou a optar por profissionais atuantes em diferentes empresas, as quais denominados de Empresa Y, Empresa W, Empresa V e Empresa Z.

Empresa X

A Empresa X é uma multinacional que iniciou suas atividades em 1971, na cidade de Joinville/SC, tornando-se a maior fábrica do mundo do segmento de compressores, além de um ótimo exemplo de inovação no setor privado (CRESTANA, 2010). Posteriormente, a empresa expandiu-se para outros países e, em 2010, já contava com nove mil funcionários.

Por ser uma multinacional, a empresa ocupa um papel de destaque quando o assunto é inovação tecnológica. Desse modo, optamos por profissionais que atuam nesse tipo de empresa, pois estes têm contato direto com tecnologias avançadas, podendo levantar pontos críticos de discussão para a presente pesquisa.

Outro destaque da empresa escolhida é sua parceria com UFSC, por meio do POLO/UFSC, o qual estabelece um projeto de cooperação com a Universidade. Inaugurado em 2006, o POLO (Laboratórios de Pesquisa em Refrigeração e Termofísica) conta com 15 laboratórios equipados com equipamentos de última geração, destinados à pesquisa científica e tecnológica¹⁹.

Ao todo, foram entrevistados quatro engenheiros que atuam na Empresa X, escolhidos segundo os critérios já mencionados anteriormente (ser egresso da UFSC, formação em Engenharia Elétrica/Produção Elétrica ou Eletrônica ou Materiais e disponibilidade em participar da entrevista). Para não identificar os engenheiros entrevistados ao longo da análise, convencionou-se uma sigla de

¹⁹ Essas informações estão disponíveis no *site*: <www.polo.ufsc.br>.

referência para eles, citada aqui como E1 até E4 para egressos da UFSC e E5 até E8 para egressos da UNIFEI.

A tabela a seguir caracteriza os engenheiros, egressos da UFSC, entrevistados para a pesquisa.

Tabela 3.1: Egressos da UFSC participantes da pesquisa.

Engenheiro	Formação (Eng.)	Ano de formação	Cargo atual	Formação complementar
E1	Materiais	2004	Líder de Business e <i>Marketing</i>	Mestrado em Eng. Mecânica (em curso)
E2	Produção Elétrica	2006	Líder de Célula	Mestrado em Eng. Materiais (concluído)
E3	Elétrica	2011	Especialista Manufatura	Mestrado em Metrologia Científica e Industrial (em curso)
E4	Elétrica	2010	Especialista de Materiais	-

Empresa Y²⁰

Criada no ano de 2000, na cidade de Itajubá-MG, a Empresa Y desenvolve soluções em Tecnologia da Informação para empresas de equipamentos eletromédicos que possuam grande valor tecnológico agregado. A empresa tem por objetivo desenvolver e comercializar soluções em Tecnologia da Informação, utilizando as mais avançadas técnicas de projetos de circuitos, desenvolvimento de *software* e processamento digital de sinais, proporcionando avanços na medicina diagnóstica e de tratamento.

Empresa W

A empresa atua no segmento da Tecnologia Assistiva e tem como missão oferecer soluções inovadoras e com tecnologia de ponta para a comunidade com problemas de surdez, promovendo integração de pessoas com deficiências à sociedade brasileira. Criada no Parque

²⁰ As informações apresentadas sobre as Empresas Y, W, V e Z foram retiradas dos seus endereços eletrônicos.

Científico e Tecnológico de Itajubá-MG, a empresa tem o intuito de desenvolver seus produtos e serviços respeitando o “Desenho Universal”, ou seja, algo que seja capaz de atender não só aos deficientes, mas sim, a todas as pessoas.

Empresa V

Atua no desenvolvimento de sistemas de informação que agreguem dados dos setores de energia elétrica, água e gás e que sejam adaptáveis às necessidades específicas de cada cliente. De modo geral, facilita práticas tradicionais, como análise e cálculos de tarifas do setor de energia, por meio de tecnologias da informação. Áreas de atuação: definição, análise e cálculo de estruturas tarifárias; análises e proposições de revisões tarifárias; projeção de tarifas de energia elétrica; e desenvolvimento de sistemas *web* voltados ao setor de energia.

Empresa Z

No mercado desde 1999, na cidade de Itajubá-MG, a Empresa Z atua com aplicações com código de barras e rastreamento; aplicações com coletores de dados e impressoras sem fio, integração com *softwares* de gestão empresarial e aplicações de mobilidade corporativa.

Para fazer parte da nossa pesquisa, escolhemos um engenheiro de cada Empresa (Y, W, V e Z) por meio dos critérios já mencionados anteriormente (ser egresso da UNIFEI, com formação em Engenharia Elétrica/Produção Elétrica ou Eletrônica ou Materiais e disponibilidade em participar da entrevista).

A tabela a seguir caracteriza os engenheiros, egressos da UNIFEI, entrevistados para a pesquisa.

Tabela 3.2: Egressos da UNIFEI participantes da pesquisa.

Engenheiro	Formação (Eng.)	Ano de formação	Empresa/Cargo atual	Formação complementar
E5	Elétrica	2007	Empresa Y/Gerente Geral	Mestrado em Eng. Elétrica
E6	Elétrica	2008	Empresa W/Gerente	Mestrado em Eng. Elétrica
E7	Elétrica	1996	Empresa V/Administrador	Doutorado em Eng. Elétrica
E8	Elétrica		Elétrica	-

3.2.2 Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico (CTC)

Uma das universidades escolhidas para análise do currículo de cursos de Engenharia e para entrevistar formadores de Engenheiros foi a UFSC, em especial o CTC, localizado do *campus* Trindade, na cidade de Florianópolis/SC (figura 3.1). Escolhemos essa universidade por contemplar as engenharias que temos maior interesse (Elétrica, Eletrônica e Materiais), além da proximidade com o programa de Pós-graduação no qual a presente pesquisa foi desenvolvida, o que facilita o contato com os formadores.

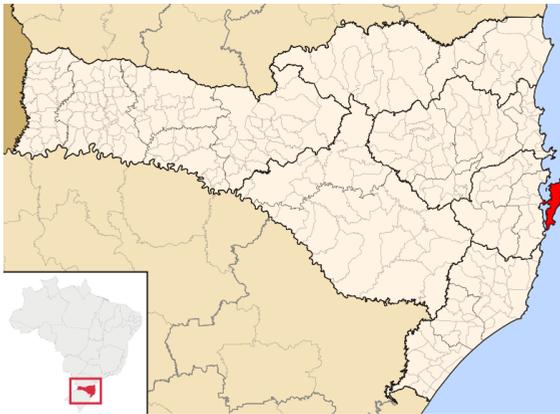


Figura 3.1: Mapa de Santa Catarina, destacando o Município de Florianópolis/SC.

O CTC conta com 12 cursos de Engenharia: Engenharia de Alimentos, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Civil, Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica, Engenharia de Materiais, Engenharia Mecânica, Engenharia de Produção Civil, Engenharia de Produção Elétrica, Engenharia de Produção Mecânica, Engenharia Química, Engenharia Sanitária e Ambiental.

Num primeiro momento, foram analisados os currículos dos 12 cursos de Engenharia citados anteriormente, com o intuito de identificar quais conteúdos de FMC são trabalhados em cada curso, bem como suas respectivas cargas horárias. Posteriormente, o foco da investigação foram os formadores das modalidades Elétrica/Produção Elétrica,

Eletrônica e Materiais, as mesmas modalidades dos engenheiros escolhidos para investigação.

Para não identificar os formadores entrevistados ao longo da análise, convencionou-se uma sigla de referência para eles, citada aqui como: F1 até F5 para formadores da UFSC e F6 até F10 para formadores da UNIFEI. A tabela a seguir caracteriza os formadores da UFSC que participaram da pesquisa.

Tabela 3.3: Formadores da UFSC participantes da pesquisa.

Formador	Formação inicial	Ano de formação	Modalidade que leciona	Pós-graduação (doutorado)
F1	Eng. Elétrica (UFSC)	1985	Elétrica/Eletrônica	Eng. Elétrica
F2	Eng. Elétrica (UFSC)	1996	Elétrica	Eng. Elétrica
F3	Eng. Eletrônica (INPG)	1979	Eletrônica	Eletrônica
F4	Eng. Mecânica (UFSC)	1982	Materiais	Eng. Materiais
F5	Eng. Mecânica (UNICAMP)	1990	Materiais	Eng. Mecânica

3.2.3 Universidade Federal de Itajubá

A segunda universidade escolhida para nossa investigação foi a UNIFEI, em específico o *campus* localizado na cidade Itajubá/MG (figura 5).

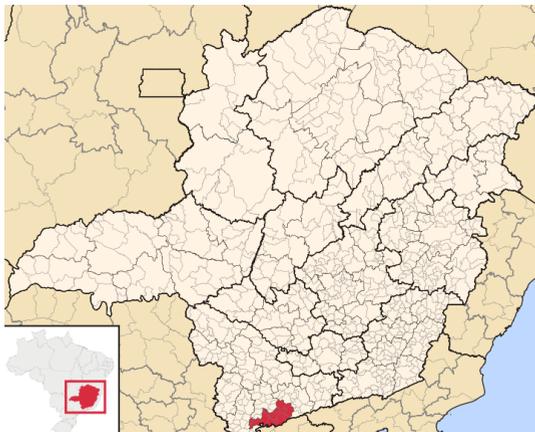


Figura 3.2: Mapa de Minas Gerais, destacando o Município de Itajubá.

Optamos por essa Universidade pela sua referência na área tecnológica, sendo a décima escola de Engenharia fundada no Brasil. Além disso, a cidade de Itajubá é caracterizada como um distrito industrial de MG, contendo indústrias de médio e grande porte, as quais exigem uma grande demanda de profissionais da área da engenharia.

A UNIFEI (*campus* Itajubá)²¹ conta com 14 cursos de Engenharia, sendo das seguintes modalidades: Engenharia Ambiental, Engenharia Civil, Engenharia de Bioprocessos, Engenharia de Computação, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia de Energia, Engenharia de Materiais, Engenharia de Produção, Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica, Engenharia Hídrica, Engenharia Mecânica, Engenharia Mecânica Aeronáutica e Engenharia Química.

Novamente foram analisados os currículos dos cursos de Engenharia para identificar a extensão da FMC, além de identificar e analisar as concepções dos formadores sobre a importância da FMC para formação dos engenheiros. Não foram analisados os currículos das

²¹ A UNIFEI possui um segundo *campus*, Itabira, com ênfase totalmente tecnológica, no qual 100% dos seus cursos são engenharias. No entanto, como a maioria dos cursos ainda não possui turmas formadas, optamos apenas pelo *campus* de Itajubá.

modalidades de Bioprocessos, Energia e Química, por não possuírem a estrutura curricular completa.

Conforme mencionado anteriormente, um dos critérios para escolha dos formadores é ser engenheiro por formação. No entanto, optamos por um formador (F10) que não possui formação em Engenharia. Escolhemos esse profissional pois, além de possuir mestrado e doutorado na área de Engenharia, é o atual coordenador do curso de Engenharia de Materiais, podendo contribuir com os objetivos da pesquisa.

A tabela a seguir caracteriza os formadores da UNIFEI que participaram da pesquisa.

Tabela 3.4: Formadores da UNIFEI participantes da pesquisa.

Formador	Formação inicial	Ano de formação	Modalidade que leciona	Pós-graduação (doutorado)
F6	Eng. Elétrica (UNIFEI)	1983	Eletrônica	Eng. Elétrica
F7	Eng. Elétrica (UFPA)	1988	Elétrica	Eng. Elétrica
F8	Eng. Materiais (UFSCAR)	1991	Materiais	Eng. Materiais
F9	Eng. Materiais (UFSCAR)	1998	Materiais	Eng. Elétrica
F10	Bel. Química (UEL)	1996	Materiais	Eng. Mecânica

3.3 A análise textual discursiva como instrumento analítico

Para analisar as entrevistas realizadas com engenheiros atuantes na indústria e formadores dos cursos de Engenharia, utilizamos como instrumento analítico o processo da análise textual discursiva (ATD).

Nessa perspectiva, a análise é feita sobre um conjunto de produções textuais denominados *corpus*. Tais produções podem ser construídas especialmente para pesquisa, como a transição de entrevistas, depoimentos, registro de observações, ou podem já existir previamente como revistas, jornais, relatórios diversos, entre muitos outros tipos. A ATD compreende que o *corpus* da pesquisa traz discursos sobre fenômenos que podem ser descritos e interpretados, gerando múltiplos sentidos. No caso desta investigação, o *corpus* será construído especialmente para esta pesquisa, resultando das transcrições das entrevistas com engenheiros e formadores.

Segundo Moraes (2003, p. 192), a ATD pode ser compreendida como “[...] um processo auto-organizado de construção de compreensão em que novos entendimentos emergem de uma sequência recursiva de três componentes: unitarização, categorização e comunicação”.

A unitarização compreende a fragmentação e desconstrução do *corpus* da pesquisa em busca das unidades de base, ou unidades de significado. Nessa etapa, há recortes das partes que possuem significado para a investigação. A segunda etapa, chamada de categorização, corresponde à junção entre as unidades de base, conforme a relação entre esses elementos e sua classificação em conjuntos mais complexos chamados de categorias. Estas, por sua vez, podem ser definidas *a priori* ou então serem emergentes. Em nosso trabalho, as categorias de análise serão emergentes, ou seja, construídas a partir de um processo essencialmente indutivo, com base nas informações contidas no *corpus* da pesquisa. Tais categorias de análise são criadas com o intuito de promover um diálogo entre os referenciais teóricos apresentados e os dados²² da pesquisa.

Por fim, a ATD traz a etapa de comunicação, a qual consiste em elaborar textos descritivos e interpretativos, chamados de metatextos, que descrevem e interpretam os fenômenos investigados a partir de categorias determinadas. Apesar da construção de categorias ao longo do processo de análise dos dados obtidos, serão discutidas demais questões que emergirem dos discursos, não passíveis de categorização, mas importantes para a compreensão do contexto.

²² Apesar de chamarmos de “dados”, por diversas vezes, o *corpus* da pesquisa, compreendemos que nada é realmente dado, mas que tudo é construído. Conforme defendem Moraes e Galiuzzi (2007), os textos não carregam significados apenas a serem identificados, mas trazem significantes exigindo que o pesquisador construa significados a partir de suas teorias e seus pontos de vista (pág. 17).

Apesar de se constituir de um processo interpretativo, que parte do pressuposto que não existe uma única leitura, mas que um texto pode possibilitar uma série de significações, a análise textual discursiva não carece de rigor na pesquisa. Segundo Moraes e Galiazzi (2007), a validade e a confiabilidade dos resultados da análise são construídas ao passo que cada etapa é realizada. Quando as etapas de unitarização e categorização são conduzidas de forma rigorosa, os metatextos produzidos a partir delas são considerados válidos e representativos dos fenômenos investigados. Além disso, segundo os autores, a validade da análise também pode ser construída “[...] a partir da ancoragem dos argumentos na realidade empírica, o que é conseguido por meio do uso de ‘citações’ de elementos extraídos dos textos do ‘corpus’” (MORAES; GALIAZZI, 2007, p. 39). A inserção de trechos cuidadosamente selecionados dos textos originais estabelece uma forma de validação dos resultados das análises.



Capítulo 4

ANÁLISE DE CURRÍCULOS DE ENGENHARIA: DETECTANDO A PRESENÇA DA FMC

Neste capítulo, apresentamos a análise da estrutura curricular de cursos de Engenharia da UFSC e UNIFEI. Destacamos quais cursos apresentam conhecimentos de FMC nos seus currículos, quais conteúdos têm sido privilegiados e qual a carga horária destinada a esses conteúdos.

4. ANÁLISE DE CURRÍCULOS DE ENGENHARIA: DETECTANDO A PRESENÇA DA FMC

O currículo tem papel fundamental no perfil do indivíduo que se pretende formar. No caso dos cursos de graduação, como as engenharias, é a partir do currículo que podemos compreender o que a universidade espera do futuro profissional, o perfil do egresso, suas características e ênfases. Compreendemos, no entanto, que, apesar da existência de um currículo proposto pelas instituições, formulado por vários profissionais que possuem interesses na formação de determinado indivíduo, a realidade dentro das salas de aula nem sempre acompanha tal planejamento. Entretanto, nosso intuito é analisar apenas se há indicações de conteúdos de FMC nos currículos dos cursos de Engenharia das universidades escolhidas, ou seja, procuramos verificar se há uma preocupação por parte dos cursos analisados em que esses conteúdos sejam estudados pelos futuros engenheiros, não nos preocupando, nesse momento, se de fato isso está se consolidando em sala de aula.

Como já mencionado anteriormente, nosso objeto de análise consiste num total de 23 currículos, sendo 12 destes de cursos de Engenharia da UFSC e 11 de cursos de Engenharia UNFEI. Foram coletados dados institucionais sobre a **natureza do curso** (por exemplo, Engenharia Elétrica), a **carga horária (CH) total de cada curso**, a **CH de disciplinas de Física**, além da **quantidade aproximada de horas-aula (H/A) destinada à FMC** tanto em disciplinas de Física quanto em disciplinas específicas e optativas do curso. Para o levantamento e a tabulação desses dados, foram feitas as considerações descritas a seguir.

- Estabelecimento dos conteúdos designados como FMC²³ – **Mecânica Quântica**: estudo da dinâmica de sistemas na escala atômica e subatômica. Entre os tópicos desse conteúdo, destacam-se àqueles conhecidos como a “velha” MQ: radiação de corpo negro, quantização da energia, efeito fotoelétrico, efeito Compton, espectros atômicos, modelo atômico de Bohr; e a MQ propriamente dita: propriedades ondulatórias da matéria, comprimento de onda de De Broglie, Equação de Schrödinger, funções de onda do átomo de hidrogênio, o *spin* do

²³ Levantamento feito com base em livros didáticos de Física Básica (TIPPLER; LLEWELLYN, 2006; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

elétron, princípio da incerteza. Relatividade Geral: relação espaço-tempo; e Relatividade Restrita: fenômenos com velocidades comparáveis a da luz. Física do Estado Sólido: espectro molecular; *lasers*; teoria quântica da condução de eletricidade; condutores, isolantes e semicondutores (extrínsecos e intrínsecos); transistores e supercondutores. Estatística Quântica: distribuições de Bose-Einstein e Fermi-Dirac. Física Nuclear: a composição do núcleo; o modelo da gota líquida; radioatividade; decaimentos alfa, beta e gama; fusão e fissão nuclear; a força nuclear; o Modelo de Camadas. Física de Partículas: partículas e antipartículas; interações fundamentais; leis de conservação e simetrias; o Modelo Padrão.

O contato com o currículo dos cursos foi por intermédio dos *sites* das universidades, desse modo, não sabemos como os conteúdos encontrados estão sendo abordados em sala de aula e qual o tratamento e o aprofundamento dado a esses conhecimentos.

- Em relação à CH de disciplinas de Física, foram consideradas apenas as disciplinas oferecidas pelos próprios departamentos/institutos de Física, desconsiderando disciplinas específicas como Mecânica dos Fluidos, Mecânica dos Sólidos, Fenômenos dos Transportes, entre outras, que de alguma forma também abordam conhecimentos de Física.

- Como poucos foram os casos em que disciplinas são inteiramente dedicadas à FMC, para se obter uma aproximação da quantidade de horas-aula de FMC em cada disciplina na qual esta se fazia presente, dividimos a CH total da disciplina pelo número de itens que ela apresenta.

4.1 Cursos de Engenharia da UFSC

Nas tabelas 4.1 e 4.2, podemos observar as informações coletadas dos currículos dos cursos de Engenharia da UFSC.

Ao analisarmos ambas as tabelas, percebemos a considerável CH destinada às disciplinas de Física, reforçando o quanto os conhecimentos provenientes dessa Ciência são fundamentais para a prática da Engenharia. As DCNCE estabelecem que a Física, juntamente com mais 14 outras áreas de conhecimento devem somar um total de 30% da CH total mínima estabelecida para o curso. Em alguns casos, como o curso de Eletrônica da UFSC, a CH de Física corresponde a aproximadamente 16% (tabela 4.2) da CH total do curso, ou seja, mais da metade da CH que, a princípio, deveria ser preenchida por um

conjunto de 15 disciplinas está sendo destinada especialmente aos conhecimentos de Física.

Tabela 4.1: Detecção de FMC no currículo dos cursos de Engenharia da UFSC.

Engenharia	CH total do curso (H/A)	CH de Física (H/A)	CH de FMC em disciplinas de Física (H/A)	CH de FMC em disciplinas específicas (H/A)	CH de FMC em disciplinas optativas (H/A)
Alimentos	4386	360	9	-	-
Civil	4464	414	12	-	-
Controle e Automação	4784	360	12	-	-
Elétrica	4740	486	17	30	40
Eletrônica	3630	576	141	-	40
Materiais	4202	396	140	28	72
Mecânica	4104	396	12	-	72
Produção Civil	4446	396	12	-	-
Produção Elétrica	4230	396	12	30	-
Produção Mecânica	4446	396	12	-	-
Química	4320	360	9	-	-
Sanitária e Ambiental	4176	414	9	-	-

Tabela 4.2: Porcentagem de FMC nos cursos de Engenharia da UFSC²⁴.

Engenharia	Razão CH de Física e CH total (%)	Razão CH de FMC em disciplinas de Física e CH de Física (%)	Razão CH de FMC em disciplinas específicas e CH total (%)	Razão CH de FMC total e CH total (%)
Alimentos	8,21	2,50	-	0,21
Civil	9,27	2,90	-	0,27
Controle e Automação	7,53	3,33	-	0,25
Elétrica	10,25	3,50	0,63	0,99
Eletrônica	15,87	24,48	-	3,88
Materiais	9,42	35,35	0,67	4,00
Mecânica	9,65	3,03	-	0,29
Produção Civil	8,91	3,03	-	0,27
Produção Elétrica	9,36	3,03	0,71	0,99
Produção Mecânica	8,91	3,03	-	0,27
Química	8,33	2,50	-	0,21
Sanitária e Ambiental	9,91	2,17	-	0,22

²⁴ Na última coluna da tabela não contabilizamos a CH de FMC em disciplinas optativas (apenas nas disciplinas de Física e específicas), uma vez que não necessariamente os egressos terão contato com esses conteúdos. Essa consideração é válida também para a tabela 4.4, a qual apresenta os dados da UNIFEI.

Em relação aos conteúdos trabalhados, não foi identificado um padrão para todos os cursos, sendo que alguns abordam Mecânica Clássica e Eletromagnetismo, outros acrescentam Termodinâmica e Óptica. Conteúdos de FMC foram encontrados em todos os cursos, aparecendo, por vezes, em uma disciplina exclusiva e, por outras, mesclados a outros conteúdos. Além das disciplinas teóricas de Física, todos os cursos apresentam disciplinas com enfoque experimental, como proposto pelas DCNCE.

Para análise da presença de conteúdos de FMC no currículo dos cursos de Engenharia, criamos (conforme tabela 4.1) três categorias de análise: **FMC presente nas disciplinas de Física**, ou seja, em disciplinas propostas pelo departamento/instituto de Física, **FMC presente em disciplinas específicas do curso**, ou seja, disciplinas propostas pelos departamentos de Engenharia, específicas a cada modalidade, e **FMC presente em disciplinas optativas** a cada curso, as quais não necessariamente serão cursadas pelos egressos.

Avaliando os cursos da UFSC, observamos que todas as modalidades englobam conteúdos de FMC em suas disciplinas de Física. A quantidade de horas-aula, no entanto, apresenta grande variação entre as modalidades, destacando-se o curso de Engenharia Eletrônica e Engenharia de Materiais com maior CH desses conhecimentos. Tal discrepância entre as modalidades já era prevista pela pesquisa, uma vez que esses cursos estão mais próximos a tecnologias relacionadas à FMC, necessitando, assim, de maior aproximação com esses conhecimentos. Enquanto os demais cursos mantêm uma média de 12 H/A de conteúdos de FMC nas disciplinas de Física, as modalidades de Eletrônica e Materiais destacam-se com 141 e 140 H/A respectivamente.

Em relação às ementas das disciplinas, as quais apresentam quais conteúdos de FMC são propostos pelos cursos, estas revelam muito pouco sobre o que vem sendo abordado e com que profundidade isso acontece. Nos casos dos dez cursos que apresentam menor CH de FMC (exceto Engenharia Eletrônica e Engenharia de Materiais), os conteúdos resumem-se a “Introdução à Mecânica Quântica” ou “Física Quântica e Ondas e Partículas”, e estes estão inseridos em uma disciplina de Física que aborda demais conteúdos como Óptica e Eletromagnetismo. Levando em consideração a pequena CH destinada aos conteúdos e a inserção da FMC em uma disciplina com outros

enfoques, isso nos leva a acreditar que tal abordagem é um tanto superficial, proporcionando ao graduando apenas um primeiro contato com esses conhecimentos. Além do que, por algum motivo que não nos cabe discutir neste momento, esses conhecimentos não aparentam ser tão importantes para a formação dos futuros engenheiros na visão dos profissionais que elaboraram tais currículos.

Já no curso de Engenharia Eletrônica, no qual 24,48% de toda a CH de Física são destinados aos conteúdos de FMC (tabela 4.2), foi encontrada uma disciplina exclusiva, intitulada de “Estrutura da Matéria I” (108 H/A), para discussão de tópicos de FMC. Os tópicos apresentados na ementa são: o estudo das evidências que levaram ao surgimento da FMC; estrutura atômica; interação radiação e matéria; modelos atômicos de Rutherford e Bohr; dualidade onda-partícula, teoria de Schrödinger; soluções da equação de Schrödinger para problemas unidimensionais; átomo de hidrogênio e *spin*. Além dessa disciplina, os graduandos têm contato com Física Atômica, Física Nuclear e Relatividade Especial na disciplina de “Física IV” (aproximadamente 21 H/A da disciplina) e novamente o conteúdo de Relatividade Especial em “Teoria Eletromagnética II” (aproximadamente 12 H/A da disciplina).

Como o curso apresentou uma CH considerável de elementos de FMC, buscamos também informações sobre as bibliografias utilizadas nessas três disciplinas, a fim de verificar qual o aprofundamento dado para esses conhecimentos. No caso da disciplina Estrutura da Matéria I, o livro utilizado é o “Física Quântica” (EISEBERG; RESNICK, 1986). Para a disciplina de Física IV, encontramos o livro “Fundamentos da Física”, volumes 3 e 4 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER; 1984). E, para a disciplina de Teoria Eletromagnética II, o livro utilizado é “Fundamentos da Teoria Eletromagnética” (REITZ; MILFORD; 1982). Nos casos da primeira e terceira disciplina, percebemos que são utilizadas obras com um nível um pouco mais avançado, tanto conceitual, quanto em relação ao formalismo matemático, ou seja, são obras que trazem uma abordagem que vai além de uma Física Básica, podendo trazer uma fundamentação maior sobre os conhecimentos de FMC. Já na disciplina de Física IV, o livro utilizado não traz um grande aprofundamento dos conhecimentos de FMC, passando mais por introdução aos conceitos, além de problemas e exercícios mais simples, que exigem um formalismo matemático um pouco inferior em relação aos outros.

O curso de Engenharia de Materiais também destina uma disciplina exclusiva para tópicos de FMC. A disciplina “Fundamentos da Estrutura da Matéria” (108 H/A) traz como conteúdos a radiação eletromagnética e de corpo negro; partículas e ondas; estados estacionários; equação de Schrödinger; interação radiação–matéria; regras de seleção; átomos de mais de um elétron; moléculas e sólidos. Em relação à bibliografia utilizada, encontramos o livro “Física Quântica” (EISEBERG; RESNICK; 1986) e o livro “Fundamentos da Física”, volume 4 (HALLIDAY; RESNICK; KRANE, 2008), os quais já foram mencionados anteriormente. O departamento de Física proporciona também uma disciplina intitulada “Propriedades elétrica, óptica e magnética dos materiais”, na qual conteúdos como bandas de energia, semicondutores, supercondutividade e propriedades ópticas dos materiais são abordados (somando aproximadamente 32 H/A). O curso de Engenharia de Materiais obteve a porcentagem mais representativa da presença de FMC nas disciplinas de Física, cerca de 35% (tabela 4.2), ou seja, um pouco mais de um terço da Física estudada pelos futuros egressos são conteúdos de FMC.

Os dados levantados desses dois cursos (Engenharia Eletrônica e Engenharia de Materiais) não refletem exatamente àqueles apontados por Lemes e Rezende Junior (2011), para os quais a porcentagem de FMC nas disciplinas de Física nos cursos de Engenharia do Brasil é, em média, de 6%. Por meio das ementas das disciplinas e pela bibliografia, é possível observar que os estudantes desses cursos estão tendo, a princípio, um contato um pouco mais aprofundado com o tema. Isso nos mostra também que, apesar de não ser obrigatória a presença de FMC nos cursos de Engenharia, profissionais responsáveis pela elaboração dos currículos desses cursos já enxergam a importância e a necessidade desses conhecimentos para os futuros egressos.

Chamamos a atenção também para os tópicos de FMC encontrados nos currículos. Na grande parte dos cursos, os conteúdos se restringem a uma abordagem inicial da MQ, focada nos primórdios dessa teoria, deixando de lado a MQ tal como ela foi formulada a partir das décadas de 1920 e 1930, assim como alertam Bezerra Jr. et al. (2010) e Lisboa e Piqueira (2011).

Destacamos ainda que conteúdos de FMC aparecem nas disciplinas específicas dos cursos de Engenharia. Isso foi constatado nas modalidades Elétrica, Produção Elétrica e Materiais, da UFSC. No caso do primeiro e segundo curso, a disciplina de “Materiais Elétricos” traz

os conteúdos sobre materiais semicondutores, condutores e isolantes (aproximadamente 30 H/A). Já no curso de Engenharia de Materiais, a disciplina “Estrutura Cristalina dos Sólidos” (28 H/A) aborda produção de raios-X; absorção pelo efeito fotoelétrico; absorção de raios-X; e o difratômetro de focalização tipo *bragg-bretnano*.

Por fim, conteúdos de FMC aparecem também nas disciplinas optativas, como são os casos das modalidades Elétrica, Eletrônica, Materiais e Mecânica. Apesar de não ser obrigatório o curso de tais disciplinas, mostra-se uma opção para aqueles que tenham interesse em se aprofundar em algum conteúdo específico de FMC. São oferecidas as disciplinas de “Optoeletrônica” (72 H/A), na modalidade de Elétrica e Eletrônica, “Estado Sólido” (72 H/A), na modalidade de Materiais, e “Introdução ao Processamento de Materiais por Laser” (72 H/A), na modalidade Mecânica.

4.2 Cursos de Engenharia da UNIFEI

Voltando nosso olhar para os cursos de Engenharia da UNIFEI (tabelas 4.3 e 4.4), chama-nos a atenção algumas diferenças em relação às Engenharias da UFSC. Em primeiro lugar, a média de horas-aula destinadas às disciplinas de Física na UNIFEI é menor do que na UFSC. Enquanto a primeira apresenta o valor médio de 412 H/A de disciplinas de Física nos cursos (equivalente a 9,6% do curso), os cursos da UNIFEI apresentam uma média de 287 H/A de disciplinas de Física (equivalente a 7,4%).

Vale ressaltar que a UNIFEI completou 100 anos em 2013, mas apenas em 2002 a instituição se tornou universidade. Anteriormente denominada de Escola Federal de Engenharia de Itajubá, eram oferecidos apenas os cursos de Engenharia Elétrica e Mecânica, e o foco era preparar pessoas para o mercado de trabalho, em especial para o mercado local. Tais fatores podem influenciar o currículo dos cursos, como um foco ainda mais técnico do que científico.

Voltando às disciplinas de Física, foram encontrados conteúdos de Mecânica Clássica, Eletromagnetismo e Óptica. Em nenhum curso foi encontrada uma disciplina destinada à Termodinâmica, ficando a cargo de cada curso abordar o tema em disciplinas específicas. Mesmo apresentando CH menor, novamente percebemos o quanto os conteúdos de Física são vistos como fundamentais para os cursos de Engenharia e,

consequentemente, para a prática futura do engenheiro, ocupando, assim, um grande espaço dos currículos das engenharias.

Em relação à FMC, foco da nossa pesquisa, foi possível observar certo padrão nas disciplinas de Física dos cursos de Engenharia da UNIFEI. Todos os cursos nos quais foi constatada a presença desses conteúdos se fizeram presentes na disciplina de “Física Geral IV” (72 H/A) e “Física Experimental IV” (18 H/A). Na primeira disciplina, são abordados tópicos sobre Oscilador Harmônico; Oscilações Amortecidas e Forçadas; Ondas Mecânicas; Ondas Sonoras; Ondas Eletromagnéticas; Óptica Geométrica; Óptica Física; Relatividade Restrita; e Física Quântica. Já a segunda disciplina é destinada à prática laboratorial dos conteúdos estudados na primeira.

Tabela 4.3: Detecção de FMC no currículo dos cursos de Engenharia da UNIFEI.

Engenharia	CH total do curso (H/A)	CH de Física (H/A)	CH de FMC em disciplinas de Física (H/A)	CH de FMC em disciplinas específicas	CH de FMC em disciplinas optativas (H/A)
Ambiental	3971	216	16	-	-
Civil	4157	216	16	-	-
Computação	3683	414	20	90	-
Controle e Automação	3707	252	-	72	-
Elétrica	3896	468	20	90	-
Eletrônica	3716	324	16	108	-
Hídrica	4092	216	16	-	-
Materiais	3808	216	-	-	-
Mecânica	3992	288	16	-	-
Mecânica Aeronáutica	3843	288	16	-	-
Produção	3838	252	20	--	-

Como podemos observar, os conteúdos de FMC aparecem como RR e FQ, no entanto, inseridos numa disciplina com outros grandes enfoques. Calculando, em média, a quantidade de horas-aula que são destinadas a esses conhecimentos, chega-se num valor pouco expressivo – 16 H/A para os cursos que oferecem apenas a “Física IV” e 20 H/A para os cursos que englobam também a disciplina experimental. Como já mencionado anteriormente, tal resultado expressa que os cursos oferecem apenas um primeiro contato com os conhecimentos de FMC, não o suficiente para um conhecimento a fundo das teorias e das suas

decorrências tecnológicas. Isso é corroborado também ao analisarmos a bibliografia utilizada na disciplina, a qual traz os livros “Física: um curso básico” (ALONSO; FINN, 2004), “Fundamentos da Física” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009), “Curso de Física Básica” (NUSSENZVEIG, 2006) e “Física para Cientistas e Engenheiros” (SERWAY, 1996). Todos esses livros são destinados a cursos de Física Básica (como é o caso da disciplina em questão), desse modo não apresentam um bom aprofundamento aos conhecimentos de FMC, quando comparados a outras obras já citadas anteriormente.

Já em disciplinas específicas das modalidades, quatro cursos apresentam conteúdos de FMC, sendo eles a Engenharia de Computação, de Controle e Automação, Elétrica e Eletrônica. Nos quatro cursos, a disciplina que contém esses conteúdos denomina-se “Eletrônica Analógica I”. Tal disciplina aborda o tema de semicondutores (intrínsecos e extrínsecos); diodo semicondutor, dopagem, transistor e demais tópicos sobre esse tema em geral. Além disso, as modalidades Computação, Controle e Automação e Eletrônica possuem também uma disciplina experimental sobre esses tópicos.

Tabela 4.4: Porcentagem de FMC nos cursos de Engenharia da UNIFEI.

Engenharia	Razão CH de Física e CH total (%)	Razão CH de FMC em disciplinas de Física e CH total (%)	Razão CH de FMC em disciplinas específicas e CH total (%)	Razão CH de FMC total e CH total (%)
Ambiental	5,44	7,41	-	0,40
Civil	5,20	7,41	-	0,38
Computação	11,24	4,83	2,44	2,99
Controle e Automação	6,80	-	1,94	1,94
Elétrica	12,01	4,27	2,31	2,82
Eletrônica	8,72	4,94	2,91	3,34
Hídrica	5,28	7,41	-	0,39
Materiais	5,67	-	-	-
Mecânica	7,21	5,56	-	0,40
Mecânica Aeronáutica	7,49	5,56	-	0,42
Produção	6,57	7,94	-	0,52

O que mais nos chama a atenção, em relação aos cursos analisados da UNIFEI, é a modalidade de Materiais. Apesar de ser um curso que possui ligação com os temas de FMC, conforme já repetido ao longo deste trabalho, ele não aborda nenhum conteúdo de FMC em suas

disciplinas (bem diferente da UFSC, por exemplo, na qual é o curso com a porcentagem mais expressiva de FMC). Mesmo sendo um currículo elaborado recentemente, datado do ano de 2010, por algum motivo que por hora foge do nosso alcance em discuti-lo, os profissionais que o elaboraram preferiram não inserir tais temas nesse curso de Engenharia.

Apesar de não ser o objetivo inicial da pesquisa uma análise comparativa, a tabela 4.5 apresenta uma breve comparação entre as mesmas modalidades de ambas as universidades. A comparação leva em conta apenas a CH de FMC obrigatória, ou seja, exclui as disciplinas optativas.

Tabela 4.5: Comparação entre a CH de FMC nos cursos de Engenharia da UFSC e UNIFEI.

Engenharia	UFSC (H/A)	UNIFEI (H/A)
Ambiental	9	16
Civil	12	16
Controle e Automação	12	90
Elétrica	47	110
Eletrônica	141	124
Materiais	168	-
Mecânica	12	16

Como podemos observar, a Engenharia de Materiais se destaca com a maior CH de FMC, tanto entre os cursos da UFSC quanto em relação à mesma modalidade da UNIFEI (sendo que, nesta última universidade, o curso de Materiais nem apresenta conteúdos de FMC). Já no curso de Engenharia Eletrônica, as duas universidades apresentaram CH semelhantes de FMC, apesar de oferecerem

disciplinas diferentes. Enquanto na UFSC a FMC é trabalhada apenas em disciplinas de Física, como Física IV, Teoria Eletromagnética e Estrutura da Matéria, no curso da UNIFEI, os conteúdos aparecem brevemente na disciplina de Física IV, além de aparecerem na disciplina específica de Eletrônica Analógica I.

Nos cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia Civil e Engenharia Mecânica, os conteúdos de FMC detectados em cada curso são semelhantes, ou seja, apenas uma introdução à FMC, alterando minimamente a CH entre as universidades. No curso de Engenharia de Controle e Automação, foi a UNIFEI que apresentou CH maior entre as duas universidades. Na UFSC, o curso apresenta apenas uma introdução à FMC na disciplina de Física Teórica B, enquanto na UNIFEI o curso aborda FMC em disciplinas específicas (Eletrônica Analógica I – disciplina teórica e experimental). Por fim, em ambas as universidades, o curso de Engenharia Elétrica traz conteúdos de FMC em disciplinas de Física (Física III, no caso da UFSC, e Física IV, na UNIFEI), além de conteúdos de FMC em disciplinas específicas (Materiais Elétricos, na UFSC, e Eletrônica Analógica I, na UNIFEI). Os conteúdos abordados são semelhantes, no entanto, a UNIFEI apresenta CH maior em relação à UFSC.

O intuito deste capítulo foi analisar qual a extensão da FMC nos currículos dos cursos de Engenharia da UFSC e UNIFEI, buscando apresentar um panorama da situação em ambas as universidades. Sabemos, no entanto, dos limites de uma análise como esta. Ao manter o foco apenas nos currículos, não conseguimos abranger e compreender como a inserção desses conteúdos se faz em sala de aula ou se realmente estão sendo feitas. Além do que, não conseguimos inferir porque tais conteúdos se fazem presentes ou não nesses currículos. Essa análise, no entanto, nos respaldou para outra etapa da pesquisa. Ao conversar com os formadores de engenheiros, tais aspectos analisados até aqui foram colocados em questão, em busca das compreensões desses profissionais sobre a importância da FMC na formação e atuação de engenheiros.



Capítulo 5

COM A PALAVRA, OS ENGENHEIROS.

O capítulo é dedicado à análise das entrevistas realizadas com os engenheiros. A partir da construção de categorias (emergentes das análises), interpretamos como engenheiros que atuam em indústrias compreendem a importância da FMC na sua formação e na sua atuação no mercado de trabalho.

5. COM A PALAVRA, OS ENGENHEIROS

Conforme definido na metodologia, o processo da ATD favorece a construção de um conjunto de categorias para análise das entrevistas realizadas. Essas categorias possibilitam a desconstrução do todo e a reconstrução de modo que favoreça a descrição e interpretação do processo estudado.

Foram realizadas oito entrevistas com engenheiros que atuam em indústrias com o intuito de identificar e analisar as suas concepções sobre a importância da FMC na sua formação e atuação. O início da análise se deu pelo processo de unitarização, em busca das unidades de significado. Nessa etapa, ocorreu a desconstrução do *corpus*, um momento de “explosão de ideias”, conforme denominado pela ATD. A tabela 5.1 mostra as unidades de significado obtidas por meio da análise das entrevistas e as categorias “emergentes” resultantes. A comunicação de toda análise, ou seja, o metatexto construído, está apresentado após a tabela.

Tabela 5.1: Unidades de significado e categorias de análise 1.

Categorias	Categoria 1: Perfil do profissional engenheiro	Categoria 2: A Física na formação do engenheiro	Categoria 3: A Física na atuação do profissional engenheiro
Unidades de significado	O que faz um engenheiro no mercado de trabalho	Conteúdos de Física estudados	Situações em que o engenheiro utiliza de conhecimentos de Física
	Requisitos para contratação desse profissional: quais características mais procuradas?	Atividades de laboratório no Ensino de Física	Principais conteúdos de Física utilizados na prática profissional
	O desenvolvimento de tecnologias e a atuação do engenheiro	Defasagens em relação aos conteúdos de Física	A FMC na atuação do engenheiro
	A formação continuada do profissional	A FMC no curso de Engenharia	
		Familiaridade com conhecimentos de FMC	
	Sugestões para o Ensino de Física		

5.1 Perfil do profissional engenheiro

Essa categoria objetiva verificar quais características são privilegiadas no momento da contratação de um engenheiro, como conhecimentos técnicos, habilidades comportamentais, habilidades gerenciais e de empreendedorismo, além de um bom embasamento

científico²⁵ (proporcionado por disciplinas como Física, Cálculo e Química). Além disso, a categoria busca analisar qual a relação do profissional engenheiro com inovações tecnológicas, verificando se esse aspecto se faz presente no seu trabalho.

A partir das entrevistas, constatamos que o conhecimento técnico e as habilidades comportamentais são as características mais procuradas nos profissionais engenheiros, especialmente nos recém-formados. Os engenheiros E1, E2 e E4 concordam que há uma preocupação da empresa em que o contratado possua conhecimento técnico, ou seja, aquele conhecimento específico relacionado ao cargo em que ele irá assumir, no entanto, apenas isso não é o suficiente. As habilidades comportamentais (e nesse quesito entram a comunicação, relação interpessoal, resiliência, flexibilidade, entre outros) cada vez mais vêm sendo exigidas do profissional engenheiro, como podemos observar nas falas de E1 e E4.

E1: Para recém-formado é a habilidade comportamental, aspectos culturais da pessoa e a resiliência, a flexibilidade da pessoa em lidar com diferentes frentes de trabalho e diferentes pessoas, né, trabalho em time basicamente. Então, é o que conta bastante. Conta conhecimento técnico, mas conta também, com tanto peso quanto, a habilidade comportamental da pessoa.

E4: Relacionamento interpessoal. Tu podes ter o melhor conhecimento técnico do mundo, dependendo da vaga, claro, dependendo a posição a qual tu almeja, mas a questão comportamental é, eu diria que nesse quesito para o engenheiro recém-formado, é o que mais se destaca. Claro que o conhecimento técnico é importante sim, mas ele sozinho não definiria a contratação. Até te digo, o cara que tem um conhecimento técnico um pouco pior, mas uma desenvoltura melhor, leva [o

²⁵ Compreendemos que o conhecimento científico acompanha os estudantes ao longo de todo curso, tanto em disciplinas do ciclo básico quanto nas disciplinas profissionalizantes. No entanto, para análise das entrevistas, optamos por denominar “conhecimento científico”, “embasamento científico” ou, ainda, “formação científica” apenas os conhecimentos de Física, Cálculo e Química, que geralmente são alocados no início da graduação.

emprego]. Eu acredito que é assim, dessa forma. A gente acompanha muito, principalmente nos trainees, nos processos seletivos para contratação de trainees, sendo a vaga técnica ou não.

Quando questionado sobre a importância das habilidades comportamentais, E4 relata que o engenheiro, hoje, é multitarefas dentro de uma indústria. É uma mão de obra não exclusiva para o desenvolvimento técnico e que possui a necessidade de trabalhar em equipe e compartilhar tarefas com outros profissionais. Tal aspecto vem de encontro aos trabalhos publicados na literatura em Educação em Engenharia, como descrevemos na secção 2.1.2. Cada vez mais os profissionais engenheiros são contratados para os mais diversos cargos e precisam desempenhar atividades distintas dentro da empresa, as quais exigem diferentes habilidades desse profissional.

Os engenheiros E5, E7 e E8 são mais categóricos no quesito habilidades comportamentais. Segundo os entrevistados, a capacidade de resolver problemas, de ser proativo, de se comunicar e estar apto a aprender sozinho são características essenciais do profissional engenheiro atualmente, como podemos observar nas falas a seguir.

E7: Em minha opinião, na nossa empresa, a especificidade técnica pode vir a ser útil, lógico, mas não é bem isso que a gente procura, porque a gente não encontra o conhecimento que a gente precisa do jeito que a gente precisa, então a gente contrata e treina o profissional e a partir desse treinamento ele exerce suas funções dentro da empresa. Então, a gente contrata o profissional não pelo o que ele sabe, mas pela sua capacidade de aprender. A gente avalia o candidato tentando enxergar isso nele, forma de se expressar, atividades que já exerceu, ver se é um profissional mais ativo do que passivo, então a comunicação, capacidade de empreendedorismo.

E8: Eu acho que se a gente olhar para as empresas grandes, elas levam muito mais em conta as habilidades comportamentais do que técnica, científica, administrativa etc. Lógico que é importante, mas eu acho que é muito melhor o futuro engenheiro desenvolver suas habilidades de

se relacionar com os outros do que focar em alguma área específica de conhecimento, eu acho que isso pesa muito mais.

As habilidades gerenciais, defendidas como necessárias para a formação do profissional engenheiro (SILVEIRA, 2005; PÓVOA; BENTO, 2005), também emergiram nas análises, como podemos observar na fala de E6. O entrevistado comenta que comumente um engenheiro é contratado pelo seu conhecimento técnico, no entanto, conforme adquire experiência, há uma tendência na carreira de se assumir cargos administrativos. Tal fato corrobora com o que descreve Silveira (2005), para o qual, além do interesse do mercado de trabalho em absorver profissionais com essa formação para cargos de gerência, há também um grande interesse dos profissionais em assumir esses cargos, vistos os altos salários se comparados aos salários de outros cargos, o que justifica essa tendência na carreira dos profissionais.

E6: Eu vejo um pouco de tudo que você mencionou [conhecimento técnico, científico, habilidades comportamentais, conhecimentos de gerência]. Você inicia numa parte mais técnica, mas com o tempo, com sua experiência na empresa, você acaba assumindo essa parte mais gerencial, administrativa, dependendo do caso, com o tempo. Recém-formados não vão para essa área.

Em relação a uma formação com destaque em um forte embasamento científico (como as disciplinas de Física, Cálculo e Química), não houve menções a essa característica como fator principal no momento da contratação de um engenheiro. Sabe-se que o engenheiro teve, durante a graduação, uma CH considerável desses conhecimentos, no entanto, não é um fator que entra em questão no momento de contratação de um profissional. Entretanto, quando questionados sobre o quesito “formação complementar”, seis dos entrevistados relataram que investiram na pós-graduação, sendo que cinco deles possuem ou estão cursando mestrado e um deles possui doutorado. E1, E2 e E3, atuantes na Empresa X, relatam que a própria empresa incentiva seus funcionários a continuarem seus estudos, para que possam se dedicar paralelamente à pós-graduação. Para o

profissional E1, a empresa valoriza esse contato com a universidade para que seus funcionários sempre tragam para dentro da instituição o que há de novo no Brasil e no mundo em Ciência e Tecnologia, por isso tal incentivo e investimento (tanto por liberar seus funcionários quanto com ajuda financeira). Desse modo, ao mesmo tempo em que não apareceu nas respostas dos engenheiros a importância desse conhecimento científico de base no momento da contratação do profissional, há alguns aspectos nas falas dos entrevistados que nos mostram que tais conhecimentos são importantes para a atuação do engenheiro na empresa, especialmente quando esta tem um foco em desenvolvimento de tecnologias.

Em relação ao desenvolvimento tecnológico, os entrevistados foram questionados sobre a atuação da empresa em que trabalham no que diz respeito a P&D e inovação tecnológica. Analisamos primeiramente os egressos da UFSC, os quais atuam na Empresa X. Segundo os entrevistados, essa empresa é movimentada por inovações tecnológicas. Para E1, “a empresa vive disso”, possuindo cerca de 1300 patentes atualmente. Além disso, a maior parte desse desenvolvimento, cerca de 90%, é realizado aqui no Brasil, e não em outras plantas da empresa pelo mundo, o que traz a necessidade de pessoas qualificadas para tais atividades no País. O entrevistado complementa que, para que esse desenvolvimento aconteça, há um grande investimento na universidade – aproximadamente 3% do faturamento são investidos em P&D. O profissional E1 comenta que são investimentos em pesquisas inovadoras, de risco e que nem sempre dão certo, no entanto, é retirado “um monte de informações” desse processo. Na visão do entrevistado, todo esse investimento contribui para o desenvolvimento estratégico do País, pois há melhoria no parque fabril, além de que toda inovação e aplicação de recursos que a inovação gera é investida aqui no Brasil, “[...] então, todo esse conhecimento, ele está sendo gerado aqui no País, com profissionais brasileiros, que estão na frente das inovações tecnológicas do mundo”.

Em relação às tecnologias desenvolvidas pela empresa, os entrevistados citaram alguns tipos de microcompressores recentemente desenvolvidos. O principal deles foi um modelo que não precisa estar num lugar estacionário para fazer o ciclo de refrigeração, o qual pode apresentar diversas aplicações, como a refrigeração no transporte de órgãos em caso de transplante, refrigeração de circuitos eletrônicos, que inclusive vem sendo testado para refrigerar as roupas de pilotos da

Stock-car. O que nos chama a atenção, no entanto, é que, para que sejam produzidas essas e outras inovações, pode haver a necessidade de conhecimentos de FMC, seja na utilização e no desenvolvimento de componentes que necessitam de um bom conhecimento de semicondutores, seja na P&D de nanotecnologias para que possam ser incorporadas às inovações tecnológicas, como emerge na resposta de E1 a seguir.

E1: A gente está mais no monitoramento tecnológico e no desenvolvimento de pequenos protótipos para testar pesquisas com nanotecnologia, então desde atuação em lubrificação para mancais até cargas para polímeros nós investigamos.

Percebemos, desse modo, que o contato com inovação e tecnologia pode se fazer presente no trabalho de alguns engenheiros (ainda que poucos), inclusive tecnologias que possuem relação com a FMC. Assim, apesar da importância do conhecimento técnico e das habilidades comportamentais prevalecerem nas respostas dos engenheiros, há momentos em que os entrevistados deixam transparecer que um bom conhecimento de Ciência básica, como Física, Química e também Cálculo, que auxilie na P&D, também se faz necessário para sua atuação.

Voltando a atenção para as respostas dos egressos da UNIFEI, encontramos algumas diferenças nas empresas em que esses profissionais atuam. A empresa Y, segundo o profissional E5, tem um foco na solução de problemas na área de equipamentos eletromédicos (em especial, no desenvolvimento de sistemas de informação), viabilizando tais soluções por meio de tecnologias já conhecidas ou, ainda, pelo desenvolvimento de outras. Com esse desenvolvimento, o engenheiro E5 acredita que a empresa contribui para o crescimento estratégico do País, principalmente porque, no ramo em que a empresa atua, há uma balança comercial desfavorável de 3,6 bilhões de reais. Desse modo, o entrevistado acredita que qualquer produto que a empresa consiga desenvolver aqui, deixando de comprar de outros países, contribui para o desenvolvimento nacional. O entrevistado reclama, no entanto, do baixo investimento do Governo Brasileiro para que esse desenvolvimento aconteça aqui no País, para que a importação de tecnologias diminua.

E5: Eu vejo que tem muitas áreas que o Brasil é muito carente nesse processo, não só por não ter profissionais, porque muitas vezes nós temos, mas o foco de desenvolvimento no Brasil é muito mais adaptar as soluções que vem de fora para que a gente possa utilizar aqui, do que efetivamente criar soluções nacionais para o problema. Um ponto que é extremamente grave, no meu ponto de vista, é que não temos incentivos, por meio do governo, para que a gente consiga produzir tecnologias aqui. Já sai em desvantagens em muitos pontos, por exemplo, a parte de eletrônica que a gente trabalha, 80% da matéria-prima que a gente utiliza não tem no Brasil, e quando a gente vai importar tem que trabalhar aí com uma carga tributária de 80%, 90% somente para importar. E a gente tem que pagar antes de receber a mercadoria. E a gente já sabe disso. Se a gente for comparar com uma empresa que faz o mesmo trabalho nos EUA, a gente já sai com 90% e algum tempo de atraso porque o pessoal lá já tem tudo na mão. Esse é um ponto que atrasa muito o desenvolvimento tecnológico aqui.

O profissional E6 relata que a empresa na qual atua – Empresa W – também desenvolve tecnologias, “[...] buscando oportunidades que não são encontradas no mercado”. Atuando no ramo de produtos para pessoas com problemas de surdez, o entrevistado comenta que a empresa busca criar dispositivos que auxiliem pessoas com esse tipo de deficiência, facilitando a inclusão destas no mercado de trabalho, por exemplo. Já o entrevistado E7, da Empresa V, atua no ramo da Tecnologia da Informação voltada para o setor de energia elétrica. A empresa, segundo E7, facilita práticas tradicionais, como análise e cálculos de tarifas do setor de energia, por meio de tecnologias de informação. O entrevistado acredita que o que a empresa faz pode ser considerado como uma inovação tecnológica, uma vez que são desenvolvidos novos sistemas de informação de acordo com a necessidade do cliente. Por fim, E8 relata que a Empresa Z atua na área de logística, desenvolvendo produtos para controle de entrega. E8

afirma que o que a empresa faz é considerado inovador, tanto que são finalistas de um projeto denominado Inovativa Brasil.

Ao fim desta secção, é possível sintetizar algumas conclusões. Primeiramente, constatamos, por meio das entrevistas, que o perfil do engenheiro mais buscado pelo mercado de trabalho é aquele com bom conhecimento técnico e com destaque em habilidades comportamentais. Outro quesito que emergiu nas análises foi a comum carreira seguida pelos engenheiros conforme evoluem na sua profissão, na qual assumem cargos relativos à gerência e administração no decorrer dos anos. Visto que conhecimentos aprofundados de Física, Química e Cálculo não aparecem como prioridade no momento de contratação de um engenheiro pela indústria, até porque são poucos cargos destinados a P&D (cargos que necessitariam um pouco mais desse quesito), não é espantoso que alguns conhecimentos sejam ausentes dos currículos dos cursos ou que aparecem de maneira informativa, como o caso da FMC. Uma vez que o foco do profissional estará em atividades técnicas ou administrativas, tais conhecimentos, como a FMC, não se apresentam de fundamental importância, o que justifica a colocação destes em segundo plano na formação desses profissionais. No entanto, percebemos que as empresas nas quais atuam os profissionais entrevistados estão preocupadas também em desenvolver tecnologia, e não só adaptar produtos do exterior, como é o caso, em especial, da Empresa X (a qual está mais voltada para o desenvolvimento de novos artefatos tecnológicos, e não apenas *softwares* e demais tecnologias da informação, como é o caso das outras empresas).

Os profissionais entrevistados deixam claro essa preocupação com o desenvolvimento e a inovação por parte das empresas, porém relatam que suas atuações não estão relacionadas diretamente com esse desenvolvimento, pelo menos não com aquele desenvolvimento de base, em que conhecimentos de Física, por exemplo, se tornam essenciais. Vale ressaltar que, apesar de existir poucas empresas no Brasil voltadas ao desenvolvimento tecnológico (SBF, 2007), a partir do momento que se busca esse tipo de inovação, conhecimentos de Ciência básica, como Física, Química, além de Cálculo, começam a se fazer mais presentes e se tornam mais importante, necessitando de uma maior especialização dos profissionais.

5.2 Formação em relação aos conteúdos de Física

Essa categoria analisa como foi a formação dos engenheiros no que diz respeito aos conteúdos de Física: quais conteúdos foram estudados, se houve ênfases em determinados conteúdos, além de verificar, em específico, se os engenheiros tiveram contato com a FMC e se identificam tais conteúdos em sua formação. A categoria visa analisar também se os engenheiros sentiram defasagens na sua formação em relação a esses conhecimentos, elencando as sugestões dadas pelos entrevistados para melhorias no processo de ensino e aprendizagem de Física na Engenharia.

Observamos, nas falas dos engenheiros – o que corrobora com o que foi analisado nos currículos dos cursos –, que há uma tendência de os cursos oferecerem três ou quatro disciplinas de Física teórica nas Engenharias, ditas como “Físicas Básicas”, as quais abrangem grande parte da Física Clássica e, eventualmente, alguns tópicos de FMC. Quando questionados sobre sua formação, os engenheiros comentaram sobre os tópicos de Mecânica, Termodinâmica, Elétrica, Ondas e Óptica, ou seja, àqueles conteúdos que são tradicionais tanto na Educação Básica quanto nos cursos do Ensino Superior com enfoque na área científica e tecnológica. E3 e E5 comentaram que houve um enfoque um pouco maior em Eletromagnetismo, uma vez que é a parte da Física mais voltada para a Engenharia Elétrica.

O engenheiro E3 arriscou citar que teve uma parte da “Física mais moderna”, no entanto, se referiu a conteúdos da Física Clássica, como ondas eletromagnéticas.

E3: Se eu não me engano, foram quatro Físicas, eu acho. Eu lembro de ver toda a parte da Mecânica Clássica, a parte de Eletrotécnica, a parte de Ondas, que eu acho que é a parte da Física mais Moderna, né? Ondas eletromagnéticas! [...] Óptica, isso. Eu me lembro dessas. Eu não lembro se vi algo de Termodinâmica, mas devo ter visto algo também.

Já o engenheiro E1 teve um primeiro contato com os conteúdos de FMC (apesar de não denominá-los assim) nas disciplinas de Física Básica. Além das disciplinas de Física I, II e Física Experimental (dedicada à realização de experimentos de Mecânica Clássica), E1 alega

ter cursado uma quarta disciplina de Física, a qual abrangia Óptica, Física do Estado Sólido e Magnetismo, que, segundo o profissional, foi dada “[...] uma pincelada em semicondutores”.

Após as descrições dadas pelos entrevistados sobre os conteúdos de Física que foram estudados na graduação, foram aprofundados questionamentos sobre os conteúdos de FMC, uma vez que nenhum deles citou de forma explícita que teve contato com esses conhecimentos. Apenas um entrevistado (E4) mostrou um pouco mais de familiaridade com o termo FMC, alegando que teve algo mais superficial, voltado à Física do Estado Sólido, em disciplinas específicas do curso. Além disso, E4 comenta que não teve a oportunidade de estudar Física Quântica, o que seria importante para sua formação.

E4: Tinha um conteúdo programático previsto para cadeira, mas a gente viu muito por cima. Não lembro nem se a questão da Física Quântica, que é extremamente importante, foi abordado pelo docente na época, acredito que não.

Já os engenheiros E1, E2 e E3 demonstraram não ter conhecimento sobre o que estava sendo perguntado ou, pelo menos, quais conhecimentos da Física são denominados como FMC, respondendo apenas: “É [...] eu só não lembro bem o conteúdo da Física Moderna [...]” (E3), “O que é Física Moderna e Contemporânea?” (E1) e “Já ouvi falar (da FMC), mas não sei do que se trata” (E2).

E5, de forma semelhante, aparentou não distinguir exatamente o que seria a FMC, relatando que teve contato com esses conhecimentos de Física por meio do conteúdo de Relatividade e do conteúdo de Efeito Doppler (o qual faz parte da Física Clássica).

Com o objetivo de investigar se os engenheiros tiveram algum contato com conhecimentos de FMC, mesmo não os denominando de tal forma, foi apresentada uma breve descrição desses conhecimentos, apontando seu marco inicial com Max Planck, no ano de 1900. A descrição possibilitou aos entrevistados elencarem alguns conteúdos que tiveram acesso na graduação.

O engenheiro E3 comentou alguns conteúdos que ele lembra ter estudado no seu curso, como podemos ver no seguinte relato:

E3: Sim, sim. A parte de semicondutores, por exemplo, que é bastante utilizada na nossa área. A

parte de transistores, diodos. Então essa parte de semicondutores a gente também contemplou. Essa parte de modelos atômicos mais modernos também [...] lembro do elétron ora ser tratado como onda, ora sendo tratado como partícula, lembro de ter visto isso também.

O profissional E1 também elencou alguns conteúdos de FMC, no entanto, afirmou que tais conteúdos foram vistos em uma disciplina com outros enfoques, como Óptica e Magnetismo, não sendo integralmente dedicada a temas relacionados à FMC. Os conteúdos citados pelo entrevistado foram: modelo atômico de Bohr, modelo atômico de Schrödinger, Efeito fotoelétrico e raios-X, além de alguns tópicos da Física do Estado Sólido. Segundo ele, o tema “nanotecnologia” não era ainda discutido, não por esses termos, no entanto, era discutido algo em relação à matéria em escalas nanométrica. Sobre o tema Relatividade, não houve discussão ao longo do curso, apenas “[...] aguçou a curiosidade dos mais interessados em buscar por conta própria” (E1). O profissional E8, de forma semelhante, demonstrou ter uma vaga lembrança sobre conteúdos de FMC numa disciplina de Física que englobava outros conhecimentos, no entanto, não conseguiu lembrar de nenhum conteúdo específico de FMC que possa ter visto.

Os profissionais E2, E6, E7 alegam não ter tido contato com nenhum dos conteúdos citados. Segundo E2, apenas no mestrado, devido à sua linha de pesquisa, teve a oportunidade de estudar algo que estivesse relacionado à FMC.

E2: Na graduação, não. No mestrado eu estudei bastante Supercondutores, mas por causa do tema que eu trabalhei. Mas na graduação não. [...] Já ouvi falar, mas não na graduação.

E6 e E7 comentaram não ter tido contato com FMC nem mesmo no curso de mestrado, no caso de E6, e no mestrado e doutorado, no caso de E7.

Após os relatos dos conteúdos de Física vistos na graduação, os profissionais foram questionados se essa formação, em Física, supriu as suas necessidades profissionais. De modo geral, os engenheiros se mostraram insatisfeitos quanto às suas aulas de Física da graduação,

principalmente a respeito do caráter metodológico das disciplinas. Para eles, o modo como a Física é ensinada está longe de ser agradável e interessante aos estudantes e, em alguns casos, a culpa é colocada no próprio professor, como podemos observar nas falas de E1 e E2.

E1: Eu acho que a Física na graduação depende muito do professor, então a chave desse processo é o professor. Se o professor sabe lecionar, tem a vontade, ele faz uma total diferença na vida do profissional depois na indústria, porque é como o profissional adquiriu os conhecimentos durante a graduação. Eu acho que o conteúdo em si pode ser bastante discutido, ele pode ter diversas maneiras de ser abordado, mas ele vai ser passado, agora eu acho que a chave desse processo é quem passa, é o professor que faz a diferença.

E2: Não exatamente. É porque eu vejo assim [...] a Física é muito legal, mas depende muito do professor, então se o professor ele tem uma boa didática, ele é bom professor, ele sabe ensinar de uma forma atraente para o aluno, talvez não para todos, mas para a maioria. Eu vejo que a maioria dos professores de Física, espero que não seja o seu caso, não sabe passar a Física como algo interessante, passa como uma coisa muito chata. Eu sempre gostei de Física, para mim era muito legal. Mas eu via que a maioria das pessoas só queria passar e pronto, mesmo sendo uma turma de engenharia.

Outra crítica dos engenheiros foi o fato de a Física ensinada na graduação não apresentar conexão entre os conteúdos e a futura profissão, fator que gera desinteresse dos alunos tanto nas aulas de Física quanto nas aulas do núcleo básico em geral.

E4: Eu acho que tanto Matemática quanto Física, quanto as próprias cadeiras da Elétrica deveriam estar ligadas como dia a dia, com o que é factível, com a aplicação. É um *gap* muito grande que a gente tem na UFSC. Isso é geral nos cursos, principalmente com relação à Física. Como é que tu vai passar a importância de um conteúdo de

Física, do jeito como ele é passado hoje para um cara da terceira ou quarta fase? Ele não vai conseguir fazer *link* nenhum com a atividade profissional dele e não consegue. Indiretamente tu consegue alguma coisa, mas enfim, é difícil, então tem que trazer isso muito para o dia a dia. Acho que esse é o desafio tá.

E5: O que falta é aplicabilidade, principalmente nas matérias mais teóricas, acaba tirando a vontade do aluno. Ele não tem muito gosto por aquilo. Falta trazer alguns pontos desse tipo. Essa questão de aplicação era algo para se inserir cada vez mais nessas matérias de viés muito teórico.

A partir das falas dos entrevistados, percebemos que, para os engenheiros, mais importante do que os conteúdos estudados na graduação é a forma como os conteúdos são abordados. Segundo os relatos dos profissionais, os conhecimentos aparentam não possuir aplicação e relação com sua futura profissão, além de não serem atrativos aos estudantes.

Ao enfatizar a questão dos conteúdos, cinco entrevistados (E1, E3, E4, E7 e E8) acreditam que não houve defasagens em relação aos conhecimentos, pois o curso propiciou uma base sólida para que, quando foi preciso, os profissionais pudessem buscar os conhecimentos necessários. O engenheiro E1, apesar de relatar que não houve defasagens, sugeriu que uma disciplina de Física a mais, que abordasse um pouco mais a fundo a Física do Estado Sólido, proporcionaria mais conhecimentos sobre essa área, podendo complementar e qualificar melhor a sua formação. O engenheiro E2, no entanto, sentiu falta de mais conhecimentos de Termodinâmica e Mecânica dos Fluidos, pois utiliza constantemente desses conteúdos em seu trabalho. Segundo ele, incorporar mais desses conteúdos ao curso o tornaria mais difícil e desgastante, no entanto, prepararia melhor os egressos para quando precisassem desses conhecimentos. E5, de modo semelhante à E2, sentiu defasagens em alguns conteúdos específicos à sua área de atuação hoje, “[...] uma Física do ponto de vista médico”. No entanto, não acredita que isso seja um grande problema, pois o curso de, modo geral, lhe ofereceu ferramentas para buscar conteúdos específicos como aquele, além de que não é possível englobar todos os conteúdos que possam vir a ser úteis nas mais diversas áreas de atuação. Por fim, E6

foi o único entrevistado que revela ter sentido defasagem em relação à algum tópico de FMC. Para o engenheiro, fez falta um estudo aprofundado sobre semicondutores.

Após esses relatos, foi pedido aos engenheiros que dessem sugestões para melhorias na Física que é ensinada nos cursos de Engenharia, tanto em relação aos conteúdos quanto em outros aspectos, como o caráter metodológico. Entre as respostas, destacamos novamente a questão da aplicação do conteúdo a situações reais da profissão, além da utilização de *softwares* onde há a necessidade de um maior formalismo matemático e de aulas laboratoriais com diferentes enfoques, conforme os relatos a seguir.

E3: Eu acho que o que falta mesmo um pouco é mostrar a aplicação mesmo, né, eu acho que isso faltou um pouco. Talvez alguns conteúdos, se soubesse o quão frequentes eles seriam utilizados, teria dado mais atenção [...] iria prender mais a atenção do pessoal e acabar fazendo as pessoas ter um pouquinho mais de interesse. Porque quando a gente entra na graduação, tem gente que não tem muita ideia de como é que vai ser exatamente a profissão [...] daí acha, às vezes, que é importante só as disciplinas específicas e acaba não dando muita importância para essa parte da Física, e acaba depois descobrindo que é importante para você conseguir acompanhar as outras disciplinas, e profissionalmente você utiliza com frequência, né.

E1: [...] tem que ter Física teórica, mas não muito. Só o suficiente para fazer a pessoa entender o que tá por traz e a sua aplicação. Talvez uma sugestão aí, eu não fui a fundo para poder dar uma opinião mais assertiva, mas eu acho que se você englobar *softwares*, computação junto com o lecionar a Física teórica, para tirar um pouco de você botar hoje no papel, escrever fórmulas e deduzir isso [...] Acho que é válido para a pessoa aplicar dedução de fórmulas, mas talvez tenham cadeiras um pouco mais específicas, como cálculo, para você fazer isso, para você aprender a lógica que está por traz do cálculo. Quando você vem para a

indústria, você não vai fazer contas na mão. Você vai ter *softwares* que vão resolver isso para você. Você precisa saber a lógica por trás do *software*, claro, com certeza, mas talvez você não precise perder tanto tempo deduzindo fórmulas, mas o que essas fórmulas servem, na aplicação. Daí eu estou dando uma opinião de engenharia.

As aulas de laboratório também são citadas pelos engenheiros, mesmo não sendo mencionadas pela entrevistadora. Em geral, as aulas laboratoriais de Física no Ensino Superior estão longe de atividades investigativas que instiguem os alunos na busca por respostas, uma vez que tanto o problema como o procedimento para resolvê-lo estão previamente determinados, sobrando pouco tempo à análise e interpretação dos resultados e do próprio significado da atividade realizada (BORGES, 2002). O profissional E8 faz uma sugestão nesse sentido. Segundo o engenheiro, seria importante que os laboratórios estivessem relacionados à prática do futuro profissional, e não a uma “[...] receita de bolo para se ver um pouquinho de como é na prática”. Outros engenheiros apresentam opiniões semelhantes, como podemos observar:

E2: Eu acho que tem que ter dos dois (prática e teoria). Eu acho que a teoria sem a prática é muito vago. E na graduação a gente tem disciplinas de Física experimental que são legais, mas que são passadas de uma forma assim [...] é uma máquina de fazer trabalhos. Não prepara a pessoa para nada. É dada na segunda ou terceira fase da Engenharia de Produção Elétrica e a pessoa sai dali sabendo nada, só fazendo relatórios, eu vejo a maioria e talvez não é aproveitado como poderia.

E3: É, eu lembro que teve, recordando agora, eu lembro que teve algumas aulas de laboratório onde foi feito um experimento ou outro, mas podia ser algo um pouquinho mais aplicado, não experimento, como é que eu vou dizer assim, sem aplicabilidade, só para comprovar a teoria. Poderia ser algo mais palpável, mais prático, vamos dizer assim.

E4: A Física experimental é uma piada. Tá, tem Física experimental, a gente aprende a fazer ensaios pra ver diferença espectral de determinado componente, mas o que eu vou usar disso no dia a dia de um engenheiro eletricista? Nada! Eu perdi um tempão vendo questões de lentes, espelhos e, enfim, aplicabilidade zero pra mim, entendeu? Não que não seja uma matéria importante, enfim, mas nada, nada [...] Mecânica, às vezes, eu acho que perdi muito tempo vendo mecânica, uma coisa que eu jamais vou utilizar, ou vou utilizar muito pouco.

A fala de E4 retrata a opinião de outros engenheiros, como E6 e E7. Nesses casos, houve reclamação sobre a excessiva CH de Física na graduação, sendo que pouco desses conteúdos se utiliza no dia a dia da profissão. Conforme já relatamos ao longo do trabalho, o engenheiro, hoje, possui um leque muito grande de possibilidades de atuação no mercado, o que torna inviável englobar na formação desses profissionais apenas determinados conhecimentos. Não é possível prever em qual área o futuro engenheiro irá atuar, desse modo, compreendemos que a formação básica sólida e abrangente tem o papel de instrumentalizar esse profissional para as mais diversas atuações que ele possa vir a enfrentar. Concordamos, no entanto, que há a necessidade de cada vez mais refletir o modo como a Física é ensinada e, principalmente, aproximar as pesquisas que já vêm sendo realizadas da sala de aula.

Ao final desta secção, percebemos que a Física ensinada nas engenharias possui um enfoque maior na Física Clássica, mas que isso não se mostrou um problema para os profissionais, uma vez que não sentiram grandes defasagens em relação aos conteúdos, em especial de FMC. Em muitos casos, os engenheiros nem possuíam conhecimento sobre o que estava sendo questionado, demonstrando a pouca familiaridade desses profissionais com a Física construída a partir do século XX. Apesar de não haver problemas com relação aos conteúdos, muitas foram as críticas em relação ao modo como estes vêm sendo apresentados, pois não estão atendendo as expectativas dos engenheiros. Para os profissionais, a Física se apresenta distante da sua profissão, com pouca aplicação e não usufruindo bem dos recursos disponíveis, como as práticas de laboratório.

5.3 A Física na atuação profissional do engenheiro

Vistos os conteúdos que os engenheiros tiveram em sua graduação, construímos esta terceira categoria, a qual busca analisar quais conhecimentos de Física se fazem mais presentes no cotidiano do profissional engenheiro, em especial se os conhecimentos de FMC são necessários para sua prática profissional. Para isso, perguntamos aos entrevistados se eles conseguem identificar elementos da Física que se fazem presentes em seu trabalho e em que momento isso acontece.

Nas respostas dos entrevistados, detectamos que os conhecimentos da Física Clássica, como Eletromagnetismo e Termodinâmica, aparecem mais no cotidiano dos engenheiros do que os conhecimentos de FMC.

E2: Bom, como eu trabalho num laboratório de elétrica, basicamente eletromecânica e eletrônica [...] então eletrônica básica, industrial, todos os tipos de eletrônica, boa parte de automação e refrigeração, um pouco de refrigeração. Assim, nada muito específico. Como a gente trabalha com desenvolvimento, pode ser qualquer coisa, em relação a elétrica, eletrônica e refrigeração.

E4: Na abordagem de problemas como maior eficiência do motor elétrico, na construção dele em si, a gente acaba entrando na questão de campo elétrico, na questão de diferença de potencial, nível de tensão, nível de corrente, fora isso assim, nada sabe? [...] Capacitância, indutância e tal, efeito capacitivo, efeito indutivo, mas é básico, muito básico.

Como podemos observar, a Física Clássica aparece com maior ênfase nas respostas dos engenheiros. Os profissionais destacam que a Eletrônica Básica, Eletrotécnica, Eletromecânica e Termodinâmica são muito utilizadas em seu trabalho. Ao perguntar em que momento os profissionais utilizam desses conhecimentos, o engenheiro E2 relata que, ao desenvolver projetos de testes e de painéis, ele utiliza muito dos conhecimentos de Física aprendidos na graduação. Ou, ainda, ao realizar ensaios para avaliar as características como pressão, temperatura,

características elétricas, para compreender como executar os ensaios, como coletar os dados e que acessórios precisará ter durante a medição, conforme relata E3.

Os profissionais E1, E3 e E6 foram os únicos que trouxeram elementos diferentes em sua fala, como a Física do Estado Sólido e a Física dos Semicondutores, ou seja, conhecimentos relacionados à FMC, como podemos observar nas fala de E6: “Parte de semicondutores, então, conceitos, funcionamento, as pesquisas em cima disso em si são o principal”. Destacamos também as falas de E1 e E3.

E1: Tudo ligado à Física do Estado Sólido. É, agora você me corrige se está correto determinar assim, mas existe a Física, vai lá, do estado gasoso e a Física do Estado Sólido [...] Para engenharia de Materiais, que é uma engenharia mais nova [...] uma continuidade da engenharia Mecânica [...] é Física do Estado Sólido, para engenharia de Materiais ela é necessária.

E3: Sim. Com certeza os que eu mais utilizo, no meu caso, é a parte de eletrotécnica, de circuitos, né, parte de semicondutores um pouco, no momento não estou mais tão focado nessa área, estou mais na parte de motores, então, Eletromagnetismo e a parte de circuitos, e a Mecânica o tempo inteiro também é bastante utilizada, a parte Mecânica Clássica.

Conforme observamos, para E3, a parte de semicondutores também faz parte da sua área, mas não é seu foco nesse momento, ficando mais evidente a Física Clássica na sua atuação.

Houve pouca menção à presença da FMC nas respostas dos engenheiros, desse modo, questionamos, em específico, se esses conhecimentos são importantes para a sua prática profissional e se eles conseguem identificar a sua presença em algum momento em seu trabalho.

Novamente, apenas E1, E3 e E6 veem, de alguma forma, conhecimentos de FMC presentes no seu ofício, em especial Física do Estado Sólido e Semicondutores, como podemos observar na fala de E3.

E3: Sim, principalmente por causa da minha área de atuação, aliás, onde a gente utiliza muito de componentes que utilizam de semicondutores, né, então para entender toda essa parte de junção n-p, camada de valência, então como modelas esses componentes, esses conteúdos foram importante sim.

Para E2, E4, E7 e E8, tais conteúdos não se fazem presentes em suas práticas profissionais, pelo menos no atual cargo que eles exercem.

E2: Para o meu trabalho hoje não, essa parte de microeletrônica, não vou dizer microeletrônica, mas fundamentos, funcionamento de eletrônica [...] porque na [empresa] a gente trabalha mais com aplicação de componentes de eletrônicos. Então, hoje para mim não teria feito falta essa parte. O que mais falta pra gente talvez seja conhecimentos básicos de refrigeração mesmo, mais Termodinâmica, mais Mecânica dos Fluidos e bem a fundo nessa parte, enquanto a Física Moderna eu não sei.

E4: Não, não vejo importância para isso aí, tá. Por exemplo, digo que se eu não soubesse coisa alguma com relação à FMC isso não impactaria na minha atividade profissional hoje, nada. Entretanto, eu julgo que é extremamente importante, tá, mas mais pra conhecimento geral.

E7 faz, também, uma ressalva alertando que sua opinião pode estar equivocada, uma vez que ele não possui um conhecimento aprofundado sobre o que é FMC e que talvez esses conteúdos estejam presentes de alguma forma no seu ofício, mas ele não consiga identificar, como podemos observar no seu relato.

E7: Não. Pode ser assim, se eu conhecesse talvez [a FMC] eu poderia encontrar um paralelo. Como eu não conheço, eu digo que não. Talvez minha

negativa seja em função da minha ignorância sobre o que é esse conhecimento.

Na opinião do profissional E5, a relação com a FMC depende muito do cargo ocupado pelo engenheiro em sua profissão. Quanto mais voltado para a área de desenvolvimento tecnológico, mais próximo poderá estar de conhecimentos de FMC. Não apenas na fala de E5 percebemos essa dependência do cargo ocupado com a necessidade de FMC. De modo geral, os entrevistados deixavam transparecer que a relação entre a FMC e a atuação dos engenheiros é algo “para poucos” profissionais, em especial para aqueles que trabalham com P&D.

O profissional E2 apresenta uma justificativa para o pouco aparecimento de FMC na formação e atuação do engenheiro. Segundo E2, no mercado de trabalho, hoje, há a necessidade de se trabalhar mais com o produto final, ou seja, a aplicação da tecnologia, do que com o seu desenvolvimento propriamente dito. Isso torna esses artefatos no que chamamos de tecnologia de “caixa preta”, ou seja, o profissional tem um bom conhecimento de como utilizá-la, no entanto, falta conhecimento profundo sobre seu funcionamento, além de subsídios formativos suficientes para desenvolver novas tecnologias. Como o mercado precisa de mais pessoas aptas a utilizá-las do que para desenvolvê-las, compreendemos que, como consequência, os conhecimentos necessários para esse desenvolvimento não são tão privilegiados na formação dos engenheiros.

O profissional E3 complementa em quais casos, na sua visão, esses conhecimentos são importantes, destacando que são para áreas mais específicas.

E3: Eu enxergo que são mais para áreas específicas, assim, porque para algumas análises mais superficiais você não precisa saber tanto assim dessas áreas mais modernas, desses conhecimentos mais novos. Mas para quem desenvolve um circuito integrado, ou precisa avaliar algo mais a fundo na parte de controle que utiliza bastante dessa parte de semicondutores, daí com certeza precisa, é bastante importante. Mas eu vejo que é para áreas mais específicas.

Para E1, devido à sua mudança de cargo recentemente (o qual passou de um cargo voltado à pesquisa para outro com caráter mais administrativo), esses conhecimentos já não se fazem tão presentes em sua prática, como podemos observar sua fala:

E1: Sim. Bom, atualmente que eu mudei de cargo, um pouco menos. É, mas eu acho que Física Moderna ela é importante para o País. Se nossos engenheiros querem seguir carreiras que sejam competitivas amanhã, a Física Moderna é primordial para que todos pelo menos conheçam e outros se especializem vá ao [...] é [...] vá buscar uma profissão, uma carreira nisso. Acho que é estratégico para o País inteiro, não só na minha profissão os conhecimentos de Física Moderna, com certeza.

Embora E1 reconheça a pouca utilidade dos conhecimentos de FMC no cargo atual, alerta para importância deles para o profissional engenheiro, principalmente para contribuir no desenvolvimento tecnológico do País.

Para o engenheiro E2, falta mercado para se trabalhar com desenvolvimento de tecnologias, como as ligadas à FMC, o que leva muitos engenheiros a buscar isso fora do País.

E2: [...] então, se você quiser trabalhar a fundo o desenvolvimento da Microeletrônica, processamento, dificilmente você vai conseguir uma empresa no Brasil. É difícil, por questões de impostos, tributação, importação de máquinas, incentivo para o desenvolvimento.

Novamente, o profissional E2 menciona que o desenvolvimento de tecnologias, como aquelas relacionadas à Microeletrônica, é realizado mais fortemente fora do País, por uma série de motivos citados por ele. Ou seja, parece não haver muito “espaço” para que isso ocorra no Brasil, sendo mais privilegiada a compra dessas tecnologias do que desenvolvê-las. Esse cenário traz consequências na formação de profissionais ligados às áreas científicas e tecnológicas, como os engenheiros.

Como parece não haver muito incentivo para o desenvolvimento tecnológico²⁶, além de transparecer que não há necessidade de o profissional conhecer a fundo a tecnologia que está utilizando, então não se faz necessário ter conhecimento sobre os conteúdos que estão por traz dessas tecnologias como a FMC. Ou seja, há falta de mercado de trabalho para esse tipo de desenvolvimento, levando a uma falta de formação de profissionais para que isso possa acontecer, inclusive para que seja possível competir com o cenário internacional.

O profissional E2 complementa ainda que, na sua opinião, não ter FMC nos cursos de Engenharia se dá por dois motivos: o primeiro deles é pela “comodidade”, ou seja, pela tradição da Física Clássica nos currículos; o segundo motivo é o que ele chama de ciclo: se “[...] não tem pessoas que têm esse conhecimento, a gente não usa, e se a gente não usa, nunca vão ter pessoas que tem esse conhecimento” (E2).

Compreendemos, a partir das entrevistas, que, além de o destaque ser maior na Física Clássica durante a graduação dos engenheiros, o enfoque desses conteúdos é maior também em seus ofícios. Poucos entrevistados, como E1, E3 e E6, utilizam ou já utilizaram conhecimentos da FMC de alguma forma em sua profissão. Na opinião de alguns engenheiros, esses conhecimentos seriam mais necessários para o desenvolvimento de artefatos tecnológicos. No entanto, como o Brasil é um país que não tem muita tradição nesse setor, facilitando muito mais a importação de produtos do que seu desenvolvimento, são poucos os profissionais que seguem carreiras de P&D, principalmente dentro das indústrias. Os dados apresentados por Silveira e Araújo (2005) apontam que apenas 15% dos doutores em Engenharia (profissionais mais voltados a P&D) são absorvidos pelas indústrias, enquanto nos Estados Unidos esse número sobe para 85%. Além de que ainda é pequena a parceria entre universidades e indústrias no País que favoreça o desenvolvimento e a inovação.

Todos esses fatores acabam influenciando de alguma maneira no desenvolvimento tecnológico nacional e consequentemente na formação de profissionais da área tecnológica. Como não há uma grande

²⁶ Ao mesmo tempo em que o Governo realiza estudos que mostram as nanotecnologias e os semicondutores como áreas importantes para o desenvolvimento estratégico do País, ainda é pouco o investimento para que tecnologias sejam desenvolvidas no Brasil, como os altos impostos, altos juros nos investimentos em P&D, a extrema facilidade de importação de tecnologias, além de pouco subsídio do Estado para P&D nas empresas (SBF, 2007).

necessidade de preparar os engenheiros para esse fim – desenvolvimento de tecnologias –, os conhecimentos que são importantes para esse aspecto acabam sendo pouco privilegiados na formação dos profissionais. E um exemplo disso é a FMC.



Capítulo 6

COM A PALAVRA, OS FORMADORES.

O objetivo deste capítulo é apresentar a análise das entrevistas realizadas com os formadores de engenheiros. A partir de categorias emergentes da análise, interpretamos como os docentes dos cursos de Engenharia enxergam a necessidade da FMC no currículo dos cursos e qual a importância desses conhecimentos na atuação do engenheiro, visto as possibilidades de trabalho desse profissional no mercado nacional.

6. COM A PALAVRA, OS FORMADORES

Um dos objetivos da pesquisa está pautado na análise das concepções de formadores acerca da importância da FMC na formação e atuação dos engenheiros. Para alcançar tal objetivo, foram realizadas dez entrevistas, conforme definido na metodologia. A tabela 6.1 apresenta as unidades de significado e as categorias “emergentes” da análise das entrevistas.

Tabela 6.1: Unidades de significado e categorias de análise 2.

Categorias	Categoria 1: Perfil do profissional engenheiro	Categoria 2: A FMC na formação e atuação dos engenheiros
Unidades de significado	O que faz um engenheiro no mercado de trabalho	Conteúdos de Física estudados
	Quais características o mercado de trabalho mais procura nesse profissional	A FMC na formação dos engenheiros: satisfatória ou não?
	Que tipo de engenheiro o curso visa formar: ênfases nos cursos	A FMC na atuação dos engenheiros: profissionais utilizam desses conhecimentos?
	O desenvolvimento de tecnologias e a atuação do engenheiro	Desenvolvimento tecnológico no Brasil
		Pouca procura por profissionais para a área de P&D
		Formação global e regional
		Nenhuma preocupação com a necessidade dos conhecimentos para entender e julgar as tecnologias
	Perspectivas sobre a prática da engenharia no futuro	

6.1 Perfil do profissional engenheiro

Semelhante ao capítulo anterior, essa categoria objetiva identificar as principais características do profissional engenheiro atualmente. Neste momento, no entanto, o foco será os formadores dos cursos de Engenharia, buscando compreender não só o que o mercado de trabalho procura, mas, principalmente, que tipo de profissional os cursos visam formar. Entre as características principais desse profissional encontradas na literatura, destacamos as habilidades técnicas, um bom conhecimento das Ciências básicas, como Física, Química e Cálculo, ou, também, um perfil voltado para inovação, gerência e administração, além de habilidades comportamentais. Essa categoria visa compreender também a importância, em especial, do conhecimento científico²⁷ (como os conhecimentos de Física, Cálculo e Química) na formação de engenheiros, e quais as relações do profissional com o desenvolvimento de tecnologias.

Independente das modalidades investigadas, percebemos, nas entrevistas com os formadores, certa tendência para uma formação generalista, ou seja, uma preocupação em formar um profissional capacitado a resolver problemas, não importando a abrangência que estes possam ter. Essa visão dos entrevistados vai ao encontro do que é proposto pelas DCNCE, e pode ser observada nas falas dos formadores F2 e F5.

F2: Eu acredito que ele [curso] tenta buscar todas as áreas [...] nossos alunos vão para o mercado sem muitos problemas com relação a essa visão mais global, tanto dessa área administrativa, né, como da área técnica, com relação a esses dois pontos eu não vejo problemas nos nossos alunos e nessa parte humanitária eles são bastante preocupados [...]. Porque o engenheiro tem que resolver desde problemas interpessoais, tem que resolver problemas técnicos, problemas financeiros, pois, às vezes, o orçamento saiu mais

²⁷ Destacamos novamente que, ao mencionarmos os termos “conhecimento científico”, “embasamento científico” ou, também, “formação científica” ao longo da análise, estamos nos referindo apenas aos conhecimentos de Física, Cálculo e Química, que geralmente são alocados no início da graduação.

que o previsto e vamos ter que dar um jeito mesmo sem o dinheiro.

F5: Porque o engenheiro é aquele que tem formação generalista. Tanto consegue fazer matemática quanto administração, quanto tecnologia, também.

Um aspecto que se destacou nas falas dos formadores foi uma preocupação em relação às habilidades de empreendedorismo do futuro profissional. Três dos dez formadores entrevistados (F2, F6 e F10) mencionaram a importância de oferecer disciplinas voltadas para esse quesito ou, também, a necessidade de o curso reforçar essa abordagem na formação de engenheiros. Podemos observar tal aspecto na fala dos formadores F2 e F6.

F2: Eu acho que o que ele [curso] poderia reforçar um pouco mais [...] era reforçar na área de empreendedorismo, que os nossos alunos saíssem daqui mais habilitados a abrir suas próprias empresas. Acho que esse é o ponto em que nosso curso deveria melhorar.

F6: Então, eles exercitam a parte de exposição de suas ideias, argumentação e defesa dos seus pontos de vista, também o curso tem disciplina e atividade de empreendedorismo, é incentivado através da criação de novas empresas e na participação em concursos dentro da escola de pré-incubação.

A preocupação com uma formação que propicie o desenvolvimento de habilidades de empreendedorismo também vem sendo discutida na literatura em Educação em Engenharia, como já foi mencionado na seção 2.1.2 deste trabalho. Para Póvoa e Bento (2005, p. 5), “[...] está se tornando imprescindível que o profissional, em especial, o engenheiro, seja um empreendedor”. Ao defender esse aspecto na formação de engenheiros, os autores apresentam alguns benefícios de se cultivar uma cultura empreendedora ao longo da graduação, entre eles o desenvolvimento de: capacidade de trabalhar em equipe, capacidade de

comunicação verbal e escrita, capacidade de realizar e apresentar ideias; capacidade de administrar o seu tempo; além de o graduando ter oportunidade de desenvolver autonomia para aprender.

Um perfil mais direcionado a uma formação científica mais aprofundada, ou seja, com grande extensão de conteúdos de Física, Cálculo e Química, foi mencionado apenas por um de nossos entrevistados, como podemos observar na fala de F3:

F3: Eu acho que o principal da formação é dar uma formação sólida básica, porque o engenheiro tem que ter uma carreira de 30 ou 40 anos. Então, tem que ter uma formação científica sólida para ser possível ter uma carreira técnica de 30 ou 40 anos.

O formador F3 foi o único dos entrevistados que, de forma recorrente, mencionava a importância da formação científica no processo formativo dos engenheiros. Com sua formação inicial na França, na década de 1970, o entrevistado relata que na época já teve a oportunidade de ter um bom embasamento científico, com disciplinas a mais no ciclo básico do que aquelas propostas aqui no Brasil. Para F3, uma formação como esta é fundamental para que os engenheiros formados no País possam concorrer com aqueles formados em países desenvolvidos, além de ser essencial se pensarmos em um engenheiro pesquisador ou que desenvolva tecnologias.

F5, por outro lado, complementa que o curso no qual leciona atualmente tem, prioritariamente, o intuito de formar uma pessoa mais adaptada a resolver problemas de imediato da indústria, em vez de uma formação mais voltada aos conhecimentos de base como Física, Cálculo e Química.

F5: [...] então, se busca aquela pessoa que tenha capacidade de resolver problemas da indústria de imediato, então, é muito voltada à questão industrial. Eu diria que é [uma formação] mais técnica/industrial ou tecnológica/industrial do que científica mesmo.

Os formadores, de modo geral, não descartaram em momento algum a importância dessa formação científica. No entanto, não é um

questão que se destaca quando perguntamos quais as principais características do engenheiro que os cursos visam formar ou que o mercado de trabalho procura (semelhante ao que foi observado nas falas dos engenheiros no capítulo anterior). Para entender melhor o papel dos conhecimentos de Física, Cálculo e Química na formação dos engenheiros, uma vez que não foi algo citado frequentemente pelos formadores, direcionamos uma questão específica para esse aspecto. Em todas as respostas, apareceu a importância desses conhecimentos de base para a formação de um engenheiro. Os motivos pelos quais esses conhecimentos são indispensáveis foram variados. Primeiramente, cinco entrevistados (F1, F2, F4, F9 e F10) mencionaram a necessidade desses conhecimentos para o acompanhamento das disciplinas profissionalizantes, conforme revela a fala dos formadores F4 e F9.

F4: [...] mas quando ele [aluno] tem contato com as disciplinas profissionalizantes, quando se usa muita Matemática, em algumas áreas se usa muita Matemática, muita Física, muita Química, aí ele percebe que ele deveria ter entendido melhor aquela parte lá do básico, que aí ele poderia ter desempenhado melhor [...].

F9: Se o aluno não tiver essa base bem consolidada, ele tem muita dificuldade de fazer a disciplina específica lá na frente, isso a gente vê.

Nesses casos, os formadores não fizeram apontamentos para a importância dessas disciplinas para a atuação do profissional, mas sim para sua formação, para propiciar uma base necessária para as disciplinas profissionalizantes.

O formador F2 comenta que não se utiliza dos conhecimentos de Física e Cálculo, da forma como é ensinado, diretamente na indústria. F2 menciona que, vinculado aos conceitos aprendidos, está a importância do raciocínio lógico e da capacidade de resolver problemas que essas disciplinas proporcionam. De acordo com o formador, não se resolvem grandes cálculos ou problemas de Física durante a profissão, no entanto, o profissional designado a resolver problemas tem de estar atento aos diversos imprevistos e problemas que possam surgir, recordando, principalmente, de conceitos de Física para resolver determinadas situações.

F2: Eu trabalhei quatro anos na indústria antes de vir fazer mestrado, então, assim, de verdade, não. Não usei a Matemática, não desse jeito, não com números, ela veio de uma forma abstrata. A Matemática, por exemplo, tanto a Matemática como a Física, me deram uma capacidade de abstração que eu não tinha, que eu vejo que a maioria dos profissionais não tem. [...] O conhecimento de Matemática e Física na Engenharia, na prática, não é pontual do tipo vou fazer continha ou usar aquele equacionamento matemático, ele é um pouco mais abstrato na Engenharia, vem com conhecimentos mais básicos e noção de aplicação.

Além da importância de Física, Cálculo e Química como base para as disciplinas profissionalizantes (mencionada pelos cinco entrevistados²⁸) e a importância para o desenvolvimento do raciocínio lógico (mencionado por dois entrevistados (F1 e F2)), três formadores (F3, F5, F7) relacionaram uma boa base científica como importante tanto para formação quanto para a atuação no mercado de trabalho, estando esse aspecto diretamente relacionado com a capacidade de ser um bom engenheiro.

Outro ponto importante que se fez presente nas falas de três entrevistados (F3, F5, F6) foi a relação dos conhecimentos de Ciência básica com a capacidade de desenvolvimento de novas tecnologias. A partir do momento que se procura um engenheiro com esse perfil – de desenvolvimento tecnológico – para atuar no mercado de trabalho, ter uma boa base de conhecimentos de Física, Química e Cálculo se faz fundamental na vida profissional de um engenheiro, como podemos observar nas falas de F5 e F6.

F5: E você tem que desenvolver tecnologia e para isso você tem que ter noção dos fundamentos, você tem que saber Física, você tem que saber Matemática, você tem que saber as coisas que você precisa para desenvolver aquilo que você está fazendo, para melhorar um processo. [...] ele

²⁸ Um formador pode ter mencionado uma ou mais categorias de resposta.

[conhecimento científico] está sendo mais exigido [pelo mercado], mas eu não sei se a nossa universidade está respondendo ou não.

F6: Hoje, eu continuo achando, como anteriormente, que uma ótima formação é necessária para garantir o desenvolvimento dos produtos com muita tecnologia que hoje em dia são necessários.

Além de importante para o desenvolvimento de tecnologias, um dos entrevistados mencionou ainda a necessidade de um bom conhecimento científico de base para formar um engenheiro pesquisador, especialmente se o profissional optar pela carreira acadêmica.

Compreendemos, a partir das entrevistas dos formadores, que, de modo geral, a necessidade de uma boa formação em conhecimentos como Física, Cálculo e Química não se restringe à utilização em disciplinas profissionalizantes nem apenas para o desenvolvimento do raciocínio lógico. Tais aspectos podem fazer parte das vantagens de uma formação como esta, porém, visto o leque de oportunidades de trabalho de um engenheiro atualmente, esses conhecimentos se fazem presentes também na sua atuação e pode se fazer cada vez mais atuante se pensarmos em desenvolvimento de tecnologias. Conforme defendem Bazzo e Pereira (2006), mesmo diante das recorrentes mudanças nas áreas de atuação desses profissionais, por meio de superação de técnicas e tecnologias, uma boa formação tecnológica é essencial e duradoura na vida do engenheiro, e um bom embasamento científico contribui para isso.

As respostas obtidas sobre o perfil desse profissional (tanto com engenheiros quanto com seus formadores) vêm de encontro também com o panorama estabelecido pelo programa Inova Engenharia (IEL, 2006). Os autores desse projeto realizaram uma pesquisa com 120 representantes de empresas de grande porte do Brasil, além de cinco representantes acadêmicos, a fim de traçar um perfil do engenheiro que o Brasil mais precisa no momento e avaliar alguns aspectos da formação desses profissionais. O estudo mostra que, do ponto de vista técnico, os profissionais brasileiros apresentam uma boa formação, inclusive superior quando comparada à formação de engenheiros de outros países em desenvolvimento. A base teórica dos engenheiros (incluindo Física,

Química e Cálculo) também foi bem avaliada por essas empresas líderes e representantes acadêmicos. No entanto, há alguns quesitos, “justamente àqueles cada vez mais procurados pelo mercado de trabalho”, que estão deixando a desejar na formação dos engenheiros. Alguns exemplos citados pelo estudo são: capacidade de liderança, domínio em gerenciamento, espírito empreendedor e habilidades para comunicação. Embora, na visão dos sujeitos participantes da pesquisa, a universidade tem melhorado esses aspectos na formação dos engenheiros nos últimos 15 anos, a defasagem parece ainda maior, uma vez que a demanda por esses atributos é crescente no mercado.

Quando considerada apenas a opinião das empresas, a pior nota destinada aos engenheiros foi em relação à capacidade de criar projetos de pesquisa. O estudo aponta, no entanto, que a demanda empresarial sobre esse quesito é muito baixa se comparada aos outros aspectos. Poucas indústrias mantêm atividades de P&D; muito pelo contrário, a grande maioria é focada na incorporação de tecnologias já existentes, como podemos ver na citação a seguir.

Mas a visão de que o Brasil é um tradicional importador ou adaptador de tecnologias é consensual entre os entrevistados nas indústrias e nas escolas de engenharia, o que confere à atividade do engenheiro no País um caráter menos inovador, mais ligado à técnica e à prática. Assim, as escolas de engenharia tendem a ser menos valorizadas pela formação científica que propiciam aos alunos – já que esse conhecimento estaria mais associado ao âmbito do desenvolvimento tecnológico – do que por aspectos relacionados à formação técnica e operacional. (IEL, 2006, p. 68).

Uma vez que esse tipo de formação – com foco em conhecimentos de Física, Química e Cálculo, conforme apresenta o estudo – não é tão visada pelas instituições formadoras e pelo mercado de trabalho, compreendemos que tal fato pode ter algumas implicações nas escolhas dos conteúdos da formação básica, como o Ensino de FMC, conforme discutiremos com maiores detalhes na seção seguinte. Essa visão acerca das características do profissional e sua relação com P&D, apresentada pelo estudo, além de concordar com a fala dos

formadores, vai de encontro também aos relatos dos engenheiros apresentados no capítulo anterior.

Por fim, concluímos que a análise das entrevistas nesse quesito – perfil do engenheiro – corroborou com aquilo que tínhamos encontrado na literatura e nas DCNCE, as quais apontam o engenheiro de múltiplos enfoques, ou seja, com formação técnica, científica, tecnológica, empreendedora e também cada vez mais preocupada com as questões humanistas. Apesar de estabelecido um leque de quesitos importantes para um engenheiro, algumas habilidades ou alguns enfoques vêm sendo privilegiados na formação e atuação de engenheiros, entre eles a formação técnica, ou seja, um engenheiro voltado para resolver problemas práticos da indústria, e uma formação voltada para habilidades comportamentais e administrativas/gerenciais. No caso da afirmação de F2, há uma tendência dos profissionais de iniciarem na carreira atuando mais na parte técnica e, conforme evoluem na profissão, assumem cargos administrativos.

F2: Depois de cinco anos dentro de uma empresa, você não é mais técnico. É muito difícil você sentar na frente de um computador para fazer alguma coisa, ou na frente de um circuito eletrônico. [A: qual a tendência?] Gerencial. É a carreira mais comum. E aí você vai subindo para áreas administrativas, gerenciais, pessoas, não sei o quê, e aí chega um ponto da sua carreira que você nunca mais vai fazer nada técnico e não tem como voltar atrás. Ai, é muito triste. (risos).

O Programa Inova Engenharia também aponta que muitos engenheiros assumem funções de gerência entre cinco e sete anos depois de formados (IEL, 2006).

Para F5, no entanto, há profissionais que no início da carreira já se dedicam a cargos de administração.

F5: O engenheiro, até pouco tempo atrás, ele era muito voltado à área de administração e ainda é. Você vê a instituição XX, por exemplo, forma pessoas em engenharia, quase 100% dos formandos do XX vão para administração, vão trabalhar em bancos.

Ainda dentro dessa categoria, questionamos os formadores sobre a relação do profissional engenheiro com o desenvolvimento de tecnologias. Nosso intuito com a questão foi compreender se o graduando egressa da universidade capacitado para o desenvolvimento de novas tecnologias, se tal prática é exigida e se faz presente no mercado de trabalho nacional. Entre os formadores entrevistados, constatamos opiniões distintas. No entanto, mais da metade destes (F1, F2, F4, F5, F6, F9) concordam que o mercado de trabalho, hoje, busca profissionais aptos a aplicações de tecnologias já prontas, capacitados para o desenvolvimento de produtos a partir de outros já criados (uma vez que se consegue ter um tipo de inovação “juntando peças” que já existem), visando muito mais saber utilizar a tecnologia do que conhecer suas minúcias e participar do desenvolvimento tecnológico atual. Além disso, a universidade tem acompanhado essa particularidade do mercado, não apresentando enfoque no desenvolvimento de tecnologias. Tais aspectos podem ser observados nas falas dos formadores F4, F6, F9.

F4: Eu acho, em minha opinião, que o recém-formado que vai para o mercado, ele está mais preparado para utilizar a tecnologia, mas ele tem potencial, ele tem potencial para ser criativo, para inovar. Isso depende muito do meio em que ele se encontra, porque nós, no Brasil, temos poucas empresas que trabalham no sentido de inovar, a maioria das nossas empresas são empresas que adquirem tecnologia e implantam a tecnologia e utilizam, mas as que inovam são poucas.

F6: Infelizmente poucas empresas têm procurado, pelo o que eu tenho visto, o desenvolvimento de tecnologia própria, pelo alto custo de desenvolvimento.

F9: Em termos de mercado, não. O mercado contrata engenheiros para resolver problemas de chão de fábrica. É uma característica brasileira. Quando a gente pega indústrias multinacionais, isso melhora um pouco, mas quando a gente pega indústria brasileira, ela quer um técnico com boa formação [...] a nossa indústria, os nossos

empresários, eles querem seguir a cartilha. A gente percebe muito isso, principalmente com projetos que a gente está desenvolvendo com empresas, é muito difícil [...] que ele [dono da empresa] tem que tirar dinheiro do bolso para investir em Ciência e Tecnologia.

O formador F2 alerta que, no Brasil, sempre estamos “um passo depois” nessa questão de tecnologias, ou seja, a preocupação da indústria nacional não está ligada ao desenvolvimento de base, em construir algo inovador, mas a comprar tais desenvolvimentos e aplicá-los conforme a necessidade da indústria, ou fazer algum tipo de inovação sem se preocupar com desenvolvimento de base, conforme a fala de F1: “[...] você consegue um desenvolvimento tecnológico tão rápido hoje em dia somando coisas que já existem aí, e sempre sai uma inovação [...] você vai sempre ter uma evolução tecnológica maior juntando coisas que já estão prontas”.

Mesmo que o País possua a matéria-prima necessária, não há grandes investimentos para o desenvolvimento de novos produtos. O F2 cita que o Brasil, por exemplo, não produz circuito integrado em escala industrial: “[...] nós vendemos silício e compramos circuitos integrados [...]”; ou mais simples ainda: “[...] nós vendemos ferro e compramos panela”. Segundo F2, as grandes empresas responsáveis pelos maiores lucros no Brasil, com maiores vendas de ações em bolsas, não são empresas que manufacturam algum tipo de produto e exportam, mas sim empresas dos setores extrativistas. A fala do entrevistado corrobora com o estudo da SBF, realizado em 2007, o qual aponta que o lucro das empresas que dependem de tecnologia no Brasil é muito pequeno, além de decrescente, quando comparamos a empresas dos ramos extrativista, siderúrgico e energético. O que mais afeta o setor dependente de tecnologia são os altos juros, uma vez que investimentos em P&D são altamente lucrativos quando pensamos a longo prazo, mas raramente apresentam retorno em prazos curtos, “[...] e por isso quando o custo capital fica muito alto, as empresas se vêm forçadas a limitar seu esforço em desenvolvimento tecnológico” (SBF, 2007).

Mesmo que o Brasil não abra tanto espaço para o desenvolvimento de tecnologias, na opinião de F3, não podemos limitar a formação do egresso pensando apenas na região em volta da universidade. Como o mundo está globalizado, o engenheiro tem de estar preparado para atuar tanto na região onde foi formado quanto em

qualquer outro lugar do mundo. Mesmo sendo admitido em pequenas empresas da região, não é rara a necessidade do engenheiro em viajar e se comunicar com profissionais de outros países, desse modo, a sua formação não “[...] pode ser pior do que a formação em outros lugares”. Além disso, na visão de F3, temos de pensar em preparar um profissional que vai ficar no mercado de trabalho nos próximos 40 anos.

Nesse mesmo sentido, o formador F7 também revela sua preocupação em formar um profissional que não vai ser útil apenas para “apertar um botão”, mas sim formar alguém que possa ir muito além quando solicitado. E para que isso seja possível, o formador acredita que o engenheiro precisa de um “[...] bom embasamento científico e conhecimentos de novas tecnologias”.

Na opinião do formador F5, o egresso até sai preparado para desenvolver tecnologia, no entanto, ao cair no mercado de trabalho, se depara com outras exigências, principalmente em cargos relativos à administração. Mas F5 acredita que há uma tendência de mudanças, e o mercado passará a exigir cada vez mais um profissional que entenda das tecnologias.

6.2 A FMC na formação e atuação dos profissionais engenheiros

Essa categoria é destinada à discussão sobre o Ensino de FMC nas engenharias e a presença desses conhecimentos na atuação do profissional engenheiro. Para entrar nessa questão central – a FMC – questionamos os formadores, num primeiro momento, sobre quais seriam os conteúdos de Física mais importantes para a formação dos engenheiros (levando em consideração cada modalidade pleiteada pela pesquisa: Elétrica, Eletrônica e Materiais).

As opiniões foram distintas entre os entrevistados. Dos três formadores com enfoque maior em Engenharia Elétrica, dois deles (F1 e F7) apontaram o eletromagnetismo como essencial para a formação de um engenheiro nessa modalidade. O formador F1 arrisca dizer que não enxerga uma aplicação imediata das outras disciplinas de Física que englobam “Estática e Mecânica”, por exemplo. Na fala desse professor, percebemos uma visão bem particular sobre o Ensino de Física nas engenharias, para o qual, este poderia ser reduzido ao máximo em duas disciplinas, abordando, principalmente, tudo que esteja relacionado às quatro equações de Maxwell. O formador menciona também o exagero de propor uma disciplina de MQ para o curso de Engenharia Elétrica.

F1: É claro que isso é minha opinião e tem gente que diverge completamente desses conceitos, acha que tem que ter MQ, sei lá o que [...] eu já acho que não, se eu botar num curso de Engenharia Elétrica de MQ [...] não é o nosso negócio aqui, entendeu?

Para o F2, também formador voltado à área de Engenharia Elétrica, todas as disciplinas conhecidas como “Físicas básicas” são essenciais. O entrevistado volta à questão da função principal do engenheiro no mercado de trabalho, que é a de resolver problemas. Partindo desse pressuposto, nem sempre os problemas que surgirão serão essencialmente da sua modalidade em específico, no entanto, o profissional é contratado para entregar um produto final em perfeitas condições, como podemos ver na fala de F2.

F2: Porque o engenheiro, quando ele chega no mercado de trabalho [...] principalmente quando a empresa é pequena, ele quer que você resolva o problema, ele [chefe] não está nem aí se o problema é mecânico, elétrico, você tem que resolver.

F2 acredita que reduzir o número de disciplinas de Física e Cálculo, por exemplo, da formação de um engenheiro, limitaria a formação desse profissional, aproximando-a de um tecnólogo. F2 é um dos formadores que acredita que toda essa Física é essencial para o desenvolvimento do raciocínio lógico dos graduandos, propiciando ao futuro engenheiro a capacidade de resolver problemas.

O terceiro formador da modalidade Elétrica (F7), semelhante ao formador F1, também acredita que os conhecimentos denominados por eletromagnetismo são os principais para os egressos da modalidade Elétrica. O entrevistado acrescenta, também, a importância do estudo de semicondutores, conhecimento este que faz parte da FMC. Estudos sobre termodinâmica também podem ser importantes, segundo F7, pois “[...] ao desenvolver um equipamento tem que ter conhecimento da parte térmica desse equipamento”. Por fim, o entrevistado mencionou a necessidade de um bom conhecimento sobre metodologia científica, como medição e precisão, fundamentais em todas as áreas.

Nas entrevistas com os dois formadores da modalidade Eletrônica (F3 e F6), começa a se fazer mais presente a FMC, mesmo sem mencionarmos nada a respeito na pergunta. O formador F3 começa relatando a principal diferença entre o curso de Engenharia Elétrica e o curso de Engenharia Eletrônica (da UFSC), em sua opinião. Para o entrevistado, é essencial se ter conhecimentos de FMC num curso de Engenharia Eletrônica, tanto que o curso oferece uma disciplina de MQ. Ele acredita que os demais cursos deveriam acompanhar essa formação básica em Física, inclusive a modalidade Elétrica, a qual ele critica por só apresentar conceitos da Física desenvolvida até 1900.

F3: Mas eu acho que os alunos de engenharia Elétrica deveriam receber essa mesma formação, mas não recebem. O aluno de Engenharia Elétrica está sendo formado para gerenciar um sistema essencialmente hidroelétrico. Mas eu acho que se pensássemos nos próximos 40 anos, você vai ter nuclear, fusão talvez, outras energias, e para que o engenheiro seja criativo nisso, precisa de conhecimento de novos materiais e para isso precisa de formação de Física sólida. Em minha opinião, o curso de Engenharia Elétrica também precisa de uma formação sólida em FM, mas isso não é o caso.

F3 relata também a forte resistência dos colegas formadores em reforçar a base de Física dos cursos de Engenharia. Num primeiro momento, ele tentou que FMC fosse incluída no curso de Engenharia Elétrica, no entanto, isso não aconteceu. Surgiu, então, a possibilidade de se abrir um curso da modalidade Eletrônica, daí sim, segundo o entrevistado, com um “cunho mais científico”, no qual mais conteúdos de Física, Cálculo e Química seriam mais presentes na estrutura curricular, inclusive FMC. Ainda assim, o autor acredita que todos os cursos deveriam ter essa base científica fortalecida, principalmente, os conhecimentos de Física.

O segundo professor da modalidade Eletrônica também aponta conhecimentos de FMC como os principais para a formação do engenheiro eletrônico. Para F6, conteúdos como semicondutores são essenciais para um profissional que siga carreira tanto nessa área como em Engenharia da Computação também (outro curso no qual leciona).

Na visão do entrevistado, sem um bom entendimento do funcionamento de determinados dispositivos, o engenheiro pode não conseguir aplicá-los bem.

Dos cinco formadores do curso de Materiais (F4, F5, F8, F9 e 10), todos são a favor de uma formação bem abrangente em Física, incluindo todas as Físicas básicas tradicionalmente ofertadas nos cursos, como podemos ver nas falas de F5, F9 e F10.

F5: Olha, eu sou da formação generalista, eu gosto dessas Físicas, eu gostaria de ver essas Física bem dadas, para que a gente pudesse pegar esse aluno e desenvolver melhor ele aqui depois. Eu sou contra a simplificar muito. Mas, nessa área de Materiais, se usa muito essa parte átomos, essa parte de como se compõe uma molécula, como se faz um arranjo [...] Porque tem tudo a ver como uma molécula que entra ali e distorce [...] essa área de Estrutura da matéria, ela é essencial.

F9: Então, assim, para Materiais, você precisa de Mecânica, de Elétrica, de Termodinâmica, de Eletromagnetismo, você precisa de tudo. A gente está trabalhando com um material que tem que se preocupar com propriedade elétrica, propriedade térmica, tem outro material com propriedade óptica e tudo isso vem da Física. Não tem como desvincular.

F10: Eu acho que, eu vejo assim, Materiais não tem todas as Físicas, começa por aí, mas para mim todas as Físicas que a gente vê, elas são importantes. Agora lembrar de todas vai ser difícil. As quatro né, então, tem Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo e Quântica.

Apesar de todos os formadores da área de Materiais serem a favor de oferecer uma grande CH de Física básica, geralmente distribuída em quatro disciplinas de Física, apenas três (F5, F8, F10) mencionaram algo relacionado à FMC. F5 comenta a importância de se conhecer o mundo atômico e, assim, teorias acerca da Estrutura da Matéria. Já o formador F10, ao mencionar todas as Físicas que ele

acredita ser importante, menciona a Física IV, na qual há tópicos de MQ.

F4 também é a favor de uma formação generalista no que diz respeito à Física, no entanto, percebemos em sua fala apenas a importância da Física construída até o século XX: “[...] então, é muito relativo eu te dizer uma ou duas disciplinas, mas com certeza que toda a Física Clássica, como ela é apresenta hoje, é muito importante”.

Na fala de cinco formadores (F1, F2, F4, F5, F10) apareceram várias críticas ao ciclo básico dos cursos de Engenharia, em especial à disciplina de Física. Os formadores relatam que as Físicas básicas deveriam mostrar aos alunos aplicações daqueles conhecimentos. Segundo os formadores, isso acarretaria em um menor número de reprovações, evasões, além de o aluno sair do ciclo básico mais preparado para as disciplinas profissionalizantes. F2 aponta que há falta de comunicação entre os formadores de Física e das engenharias, para que juntos pudessem sanar problemas como esse. Para F4, muitos problemas seriam resolvidos com mais disciplinas de laboratório, nas quais o aluno poderia relacionar a aula teórica com a aplicação prática. O formador F5 relata que há a necessidade de os professores, de modo geral, se dedicarem mais aos alunos, em especial àqueles com dificuldades de aprendizagem. Segundo F5, por vezes os alunos são aprovados nas disciplinas do ciclo básico por pressões feitas em cima de um formador para que se diminua a reprovação dos alunos. Em vez de haver uma preocupação em como auxiliar os alunos com dificuldades, acaba havendo uma aprovação em massa, prejudicando o egresso na sua formação.

Em meio a questões como essas, sentimos falta de trabalhos na literatura que discutam a esse respeito. Como já mencionado na seção 2.4 do trabalho, não foram encontradas pesquisas que reflitam, de modo geral, acerca de qual o papel da Física na formação dos engenheiros sobre as implicações de se ter uma formação em Física e Cálculo, por exemplo, mais voltada para a prática (como esses formadores da área da Engenharia reivindicam), além de discussões sobre a necessidade de um currículo de Física bem abrangente para todos os cursos de Engenharia ou direcionado conforme a necessidade de cada modalidade.

Voltando aos conhecimentos de Física, ao todo, quatro formadores fizeram alguma menção aos conteúdos de FMC quando questionados sobre quais os principais conteúdos de Física para o curso de Engenharia no qual atuam. Para compreender melhor de que forma

eles veem a importância da FMC na formação e atuação dos engenheiros, além de quais conteúdos dentro do que se denomina por FMC seriam os mais essenciais, direcionamos questões específicas para esses aspectos.

Como essas questões são o escopo do nosso trabalho, preferimos apresentar a opinião de cada formador mais detalhadamente possível e, por fim, fazer um apanhado geral, levantando as características principais de todas as respostas.

Iniciamos pelo formador F1, do curso de Engenharia Elétrica da UFSC. Como já mencionado anteriormente, esse formador acredita ser um exagero oferecer um curso de MQ para a modalidade Elétrica, pois o egresso, hoje, não “[...] está muito preocupado com isso [...]” na sua atuação. Ao questionarmos especificamente a importância de toda a FMC, sua reação não foi diferente. O entrevistado reforça a ideia de não ser necessário, uma vez que o engenheiro formado nesse curso provavelmente não se atentará a desenvolver novos dispositivos, novos materiais, mas sim aplicar aqueles já desenvolvidos.

F1: Justamente, eu sempre falo para os meus alunos qual é a definição de Engenharia, né: Engenharia é aplicar a melhor técnica com o melhor custo. Isso é Engenharia. Então se você me der um material hoje, que ele seja barato, flexível, melhor do que tudo que tem aí, entendeu, e que eu possa aplicar ele dentro de um processo aí, isso é Engenharia, mas eu não preciso desenvolver esse negócio, esse material aí, entendeu?

Na opinião do formador, como o papel do engenheiro é resolver problemas, basta ter as ferramentas necessárias em mãos, para que o engenheiro reúna todas as peças e apresente as soluções.

Ao questionarmos a diferença entre o a modalidade Eletrônica – que oferece uma disciplina de MQ – e Elétrica, o formador F1 novamente aponta o exagero de se ensinar esses conhecimentos para os graduando em Engenharia Elétrica. O formador insinua ainda que um curso com viés muito científico, que engloba um número maior de cadeiras das ciências básicas, muitas vezes longe de qualquer aplicação, pode elevar o número de evasões dessa modalidade.

F1: Para o curso de Engenharia Elétrica, sem dúvida que é exagero. Para o curso de Engenharia Eletrônica, talvez isso se encaixe. Só que esse curso de Engenharia Eletrônica ainda não cativou nenhum aluno e o problema no meu entendimento da falta de empatia dessa cadeira com o aluno é justamente esse mundo de cadeiras de Física, Química, sei lá o que ali, que sem ver uma aplicação, sem ver uma prática, daí volta nos mesmos cursos que a gente tinha antigamente, que daqui a pouco, o cara começa assim “poxa, eu vim fazer Engenharia e daqui a pouco estou entrando num curso de Física, eu não entrei aqui para fazer Física, eu entrei aqui para fazer Engenharia”, entendeu? Daí o aluno começa a ter essa visão, ele começa a abandonar o curso ou migrar para outras engenharias, entendeu? O curso de Eng. Eletrônica existe já há algum tempo, tá, eu acho que é capaz de chegar a primeira turma e ninguém se formar.

Sabemos que as dificuldades de aprendizagem em Física, assim como as consequências desse problema (por exemplo, a evasão de alunos dos cursos), é algo presente em grande parte dos cursos de Engenharia do País (IEL, 2006). Compreendemos, no entanto, que apenas esse aspecto não pode ser levado em conta na decisão de se ensinar conteúdos mais “avançados” em Física ou não. Dificuldades de aprendizagem se fazem presentes tanto em Física Clássica quanto em FMC, necessitando, desse modo, cada vez mais de pesquisas que visem discutir como melhorar esse processo de ensino e aprendizagem, de modo a favorecer uma melhor compreensão dos conhecimentos de Física, suas relações com a prática da Engenharia e que solidifique a formação científica dos egressos.

Na seguinte fala, F1 expressa, novamente, que há a necessidade de se ensinar bem Física Clássica e que, se o interesse pela FMC surgir posteriormente, o egresso pode procurar cursos em outros lugares, mas que a graduação provavelmente não é lugar para isso.

F1: Eu acho, ainda, que se a gente tivesse os cursos básicos como a gente tinha anteriormente, né, os conceitos de Física, porque tem muito

conceito da Física que não mudou, né, as equações de Maxwell não mudaram, Estática, Mecânica, esse tipo de coisa não mudou, essas coisas não mudaram, entendeu? Eu acho que deveria ter esse tipo de curso, entendeu? Depois, se a pessoa quer ir para uma área mais aprofundada da Engenharia, que envolva materiais, daí fazer um curso de microeletrônica, mas talvez não seja aqui na universidade que ele tenha que fazer isso, entendeu?

Insistindo um pouco nessa questão, perguntamos ao F1 se conteúdos relacionados à Energia Nuclear seriam interessantes para um curso de Engenharia Elétrica. Sua resposta, categórica, novamente, deixou claro que, para o ele, por ser contra esse tipo de energia, não se faz necessário que os alunos aprendam esses conteúdos. Quando questionado sobre a importância de os alunos conhecerem o processo de produção de energia nuclear e, principalmente, suas implicações sociais, o formador relatou que não teve isso em sua formação e que não foi algo necessário ao longo da carreira.

Ao entrevistar o formador F2, também da modalidade Elétrica, da UFSC, percebemos algumas semelhanças com as falas de F1. Ambos acreditam que, para Engenharia Elétrica, tais conhecimentos de FMC são desnecessários, no entanto, podem ser muito importantes para um engenheiro Eletrônico.

F2: Porque, assim, a Elétrica, principalmente aqui da UFSC, é bastante voltada para sistemas de energia, principalmente para alta potência. Nesse caso, eles já não usam muito a parte de FQ, diferente da eletrônica. Na Eletrônica é outra abordagem, digamos assim, da Elétrica, que vai para sistemas menores, ela está mais para a cara da Física. A área de sistemas de potência está na geração de energia, de distribuição de energia elétrica, de máquinas e a FQ eu não vejo aplicação direta.

Além disso, F2 não descarta que a FMC poderá ser cada vez mais necessária nos próximos anos. O entrevistado relata com espanto o que já está sendo divulgado sobre eletrônica molecular em periódicos da

área, em que se “[...] substitui o silício dos semicondutores por uma molécula”. E, “[...] se pensarmos num engenheiro que mexa com moléculas, a gente vai precisar de FQ, e a gente vai precisar mais de Química também, vamos precisar dessas duas áreas”.

Ao ser questionado também sobre alguns conteúdos de FMC que poderiam ser ministrados para a modalidade Elétrica e por que poderiam ser importantes, F2 deixa claro que a preocupação do curso, especialmente da maioria das disciplinas profissionalizantes, é fazer com que o aluno saiba utilizar a tecnologia, e não necessariamente como funciona ou se desenvolve.

F2: Eu dou matéria de transdutores, que são sensores; a gente usa os sensores, entende, os alunos usam, aplicam os sensores prontos. A gente não estuda como se faz um sensor, infelizmente, aí vai para a área de materiais, é o que eu espero. É que eu tenho que abrir a curiosidade do aluno para como usar aquilo “como eu vou usar, para que usar”. A impressão que eu tenho, eu estou falando de indústria, não de engenheiro pesquisador, ele ainda vê isso de uma forma microscópica, e não macroscópica, e a FQ vai para o microscópico.

Desse modo, F2 conclui, que “[...] a FQ, atualmente, eu não vejo necessidade, mas eu acredito que ela será essencial nos próximos anos, por menos que a gente goste”.

O formador F3, do curso de Engenharia Eletrônica da UFSC, já vinha manifestando desde o início da entrevista sobre a importância da FMC na formação dos engenheiros. Foi um dos poucos formadores que defendeu piamente o Ensino de FMC nos cursos de Engenharia. Inclusive, foi ele, conforme seu relato, o responsável por se ter uma disciplina de Estrutura da Matéria no currículo do curso, escolha contrariada por muitos de seus colegas formadores.

Questionamos o formador sobre a necessidade desses conhecimentos para um engenheiro eletrônico. Na sua resposta, como podemos ver a seguir, ele mencionou a necessidade de o profissional entender, utilizar, projetar e desenvolver equipamentos e artefatos tecnológicos.

F3: Para começar, para entender o transistor, ele é de material semicondutor e você tem que conhecer a equação de Schrödinger do potencial periódico, se não você está formando engenheiro, estamos formando técnicos. O engenheiro precisa ter conhecimentos de Física, primeiro para entender, para utilizar, para projetar, para desenvolver pra frente [...] nós já estamos nas nanotecnologias.

Quando mencionamos a proposta do currículo atual, o formador comenta que deveria haver mais conteúdos de FMC, mais FQ, Física a Estatística e Física do Estado Sólido.

Questionamos também qual era a sua opinião sobre a resistência de outros formadores em se oferecer MQ, por exemplo, num curso de Engenharia Elétrica. Na compreensão do professor, isso pode estar relacionado à formação inicial desses formadores: “[...] eu tive um curso de MQ e acho normal que isso acontecesse. Os colegas que não tiveram; acham que isso não é necessário porque eles não tiveram”.

Para o formador F4, do curso de Engenharia de Materiais da UFSC, a FMC tem sua importância na formação dos engenheiros, no entanto, sua utilização é muito relativa ao mercado de trabalho. “É muito relativo ao ambiente em que ele se encontra, porque ele pode estar numa indústria de base tecnológica, que ele não precisa ter conhecimento de conceitos muito avançados de Física, Química ou de Engenharia”. No entanto, o entrevistado aponta que o engenheiro pode trabalhar num centro de alto desenvolvimento (e, nesse caso, o formador cita a NASA como exemplo), no qual os conceitos avançados de Física serão necessários. F4 faz uma ressalva, alertando que é necessário atender primeiramente a realidade envolta do curso, ou seja, pode ser que poucas indústrias necessitem de profissionais com esse conhecimento de FMC.

Ao mostrar a estrutura curricular do curso, F4 comenta que a proposta de FMC atende a necessidade dos futuros profissionais. No entanto, acredita na importância de se ter mais práticas laboratoriais. Na visão do entrevistado, além de aprender, por exemplo, difração de raios-X e estrutura cristalina numa aula teórica de Física, é importante que o aluno tenha acesso ao laboratório e consiga determinar, nesse caso, a estrutura cristalina utilizando a técnica de difração de raios-X. O formador relata que os alunos só conseguem ter uma formação mais

profunda nesses conceitos e técnicas na pós-graduação, quando precisam fazer alguns experimentos em suas pesquisas e, então, passam a entender como funciona e para que serve toda aquela teoria.

Na compreensão de F5, também formador da modalidade de Materiais da UFSC, os conteúdos de FMC são muito importantes para os futuros profissionais, como podemos ver na fala a seguir.

F5: Eu acho que sim, extremamente importante. Principalmente, porque a palavra da moda agora é nano, né? Tudo muito pequeno. E isso tem tudo a ver com materiais: “ah vou misturar uma nanofibra para melhorar tal propriedade” isso tudo passa por materiais. Eu acho que para materiais é essencial essa Física Moderna.

O curso de Engenharia de Materiais da UFSC tem uma proposta um pouco diferentes dos outros cursos. Além de ser dividido em trimestres, os alunos passam por seis estágios curriculares ao longo do curso, justamente para aproximá-lo do cotidiano de uma indústria. F5 tem certa dúvida de como funcionam as disciplinas básicas nesse modelo trimestral, apresentando um receio de que os alunos saiam prejudicados de alguma forma em relação à formação nas disciplinas de base, como Física, Química e Cálculo, uma vez que há a necessidade de que o professor de Física se adapte a esse modelo e construa uma disciplina de Física específica para esse caso. O entrevistado relata também que, se o curso não ficar mais atento a essa formação de base, incluindo FMC, poderá formar profissionais cada vez mais próximos a tecnólogos, e não engenheiros, como podemos ver na fala a seguir.

F5: [...] nós somos quase um curso tecnológico, a gente forma tecnólogos aqui, nós não estamos formando engenheiros. Não sou só eu que falo isso, tem mais gente que fala. Nós estamos formando um tecnólogo de luxo, é melhor que um tecnólogo e pior que um engenheiro.

O formador F6, da modalidade de Eletrônica da UNIFEI, já havia mencionado anteriormente a importância da Física dos semicondutores para profissionais tanto da área da Eletrônica quanto para a área da Computação (curso no qual também atua). F6, como

podemos ver na fala a seguir, salienta que um curso que exclua esses conhecimentos, necessários para o entendimento de tecnologias, forma profissionais aptos apenas a aplicar tecnologias, sem conhecimento profundo do funcionamento, muito menos capacitados ao desenvolvimento tecnológico.

F6: Eu enxergo que a falta de domínio da Física dos semicondutores tem levado os alunos a usarem cada vez mais os transistores como caixas pretas [...]. Então, a gente está criando, infelizmente, com essa formação na graduação, aplicadores de tecnologia. Só restando para alunos que procuram o exterior [...] só para eles tem sobrado o desenvolvimento de novas tecnologias. O nosso aluno de graduação normal, aonde, infelizmente, a carga de disciplinas é muito grande, não sobra tempo para ele conhecer a fundo a tecnologia de semicondutores.

Como podemos observar, F6 comentou sobre a falta de tempo para que se entre a fundo nessas questões, optando-se por uma abordagem mais artificial, apenas de aplicações. Nesse momento, nossa convicção inicial de que há a necessidade de se refletir sobre os conhecimentos de Física ensinados nos cursos se faz fortemente presente. Como a falta de tempo é um fator que dificulta o ensino de tais conteúdos (tempo esse ocupado em grande parte pela Física Clássica), é necessário pensar em reestruturar os conteúdos de Física ensinados atualmente, levando em conta quais são as maiores necessidades de cada modalidade.

O próximo formador (F7), do curso de Engenharia Elétrica da UNIFEI, também realçou a importância de se ter conhecimentos acerca dos semicondutores. No entanto, ele ressalta que se precisa ter um “[...] conhecimento razoável, não tão profundo [...]” sobre o assunto. Ele afirma que não aprofunda esse assunto na disciplina de Eletrônica Analógica, mas propicia uma noção aos alunos de como aquilo se comporta. A descrição do formador F7 nos leva a acreditar que os graduandos, ao terem essa noção sobre semicondutores, não necessariamente estão conhecendo as teorias que estão por trás daquela construção, como a MQ.

Na compreensão de F8, formador da modalidade de Materiais da UNIFEI, a única disciplina que poderia apresentar alguns conteúdos de FMC, denominada Técnicas de caracterização de materiais, se além muito mais à técnica do que ao funcionamento. Apenas na pós-graduação os alunos têm a oportunidade de entender o que está por trás da técnica. Mas, para F8, isso não é um grande problema. O aluno que sair sem aprender FMC não sairá “sem saber fazer nada”, pelo contrário, ele estará preparado para responder outras perguntas que não necessariamente precisam de respostas a esse nível.

Questionado também sobre quais conteúdos de FMC ele elencaria como os mais importantes, F8 comenta que não há a necessidade de se chegar “[...] na parte de Schrödinger [...]”, por exemplo.

F8: Eu acho que a parte de ondas, acho que não precisa chegar na parte de Schrödinger, né,? A gente vê isso a nível de pós-graduação. Eu vi, mas acho que não é todo professor que aborda.

F8 também relata que, em sua opinião, não falta só o professor para ensinar esses conteúdos, mas falta vontade dos alunos em aprender. Segundo o formador, ele deixa algumas “iscas” durante suas aulas, na esperança de que os alunos perguntem como aquilo funciona mais profundamente. No entanto, isso não ocorre. F8 reclama que há uma cobrança para que se prenda a atenção do aluno, mas, por outro lado, o aluno só quer saber a aplicação daquele conteúdo.

O formador F9, da modalidade de Materiais da UNIFEI, acredita que, para os egressos desse curso, o conteúdo mais importante de FMC é semicondutores. Como esses conhecimentos estão fortemente relacionados com sua pesquisa, isso faz com que o formador associe a FMC, de alguma forma, à formação e atuação de engenheiros de Materiais.

Por fim, para o formador F10, também da modalidade de Materiais da UNIFEI, a FMC é importante para os profissionais dessa área, em especial para a área de cerâmica. F10 menciona que o curso não possui todas as físicas básicas, incluindo àquela que engloba FMC, mas que seria importante que o curso a oferecesse. Como coordenador do curso, pretende apresentar uma proposta para que novas disciplinas de Física sejam oferecidas pelo curso.

Como podemos ver, o Ensino de FMC nos cursos de Engenharia divide opiniões entre os formadores. Em uma mesma modalidade, há aqueles que defendem a importância desses conhecimentos para a formação e atuação do engenheiro, e outros que não veem essa necessidade, principalmente ao olhar para o mercado nacional. Com exceção de F3, os demais formadores não apresentaram muita familiaridade com o termo “FMC”, nem mesmo quando explicitado o que se entende por isso. Percebemos isso, principalmente, quando pedíamos para que os formadores apontassem quais conteúdos de FMC são os mais importantes para o curso em questão. Mesmo para aqueles que citavam o conteúdo de semicondutores, eles relatavam não ser importante conhecer a fundo o assunto ou não aparentavam ter conhecimento sobre toda a Física que está por trás desses materiais, passando a impressão de conhecê-los mais na sua aplicação do que no seu funcionamento.

Os motivos pelos quais a FMC é importante para a formação e atuação do engenheiro se aproximam daqueles apresentados pelos trabalhos encontrados na literatura sobre o tema (secção 2.4.1). Os formadores que defendem o Ensino de FMC apontam a importância desses conteúdos tanto para o engenheiro entender o desenvolvimento tecnológico atual quanto para estar mais apto a desenvolver novas tecnologias. Não há, no entanto, uma preocupação em que os alunos conheçam a fundo as tecnologias, pensando nas suas implicações sociais, ambientais, econômicas e políticas, conforme mencionado nas DCNCE. Um exemplo disso foi a fala do formador F1 (mencionada anteriormente), para o qual os alunos não necessitam aprender sobre Energia Nuclear, pois o curso não é a favor desse tipo de energia. Quando questionado sobre a importância de o aluno conhecer a fundo sobre o assunto para ser capaz de refletir, analisar e tomar decisões a respeito de temas como esses, o formador apenas menciona o quanto ele acredita que esse tipo de energia “não terá futuro”, além de não ser um fator importante para a região onde a universidade se encontra.

A nanotecnologia, promissora para o futuro, é outra área de estudo e desenvolvimento que também precisa ser acompanhada de perto. Suas implicações sociais, ambientais e econômicas ainda necessitam de muito estudo e, para isso, serão necessários profissionais aptos não apenas para aplicá-la, enxergando-a como uma “caixa preta”, mas que conheçam o que está por trás dessa tecnologia, que saiba avaliar as diversas implicações desse desenvolvimento, pensando nos

benefícios e malefícios para a sociedade como um todo, além estar apto a desenvolver novos artefatos tecnológicos, caso seja necessário.

Questionamos os formadores também sobre a relação da FMC com a indústria, buscando compreender como eles enxergam a utilização desses conhecimentos no mercado de trabalho. Dos entrevistados que responderam a essa questão, apenas três (F3, F4, F5) veem de alguma forma os conhecimentos de FMC presentes na atuação dos engenheiros nas indústrias. Para os demais, isso ainda é algo distante, pelo menos se pensarmos apenas no mercado brasileiro.

O formador F4, um dos formadores que acredita que já existe uma relação entre a FMC e o mercado de trabalho dos engenheiros, apresenta alguns exemplos:

F4: Sim, exemplo disso é a nanotecnologia que tem aplicações em diversos setores industriais. A engenharia de materiais sintetiza e utiliza nanopartículas para a produção de materiais como propriedades específicas, tais como suportes catalíticos, pigmentos inorgânicos etc.

Para F6, apenas os egressos que procuram chances de trabalho no exterior possuem reais oportunidades de utilizar conceitos avançados de Física, como a FMC, dentro de uma indústria.

F6: Os que vão para a área sim, já que no Brasil não tem muita oportunidade. Os que buscam vaga de trabalho no exterior têm utilizado desses conhecimentos, pois cada vez mais os dispositivos tem tempo de vida curto e envolvem conceitos avançados de Física. Por exemplo, hoje nós temos transistores de tamanho de 45 nm, 20 nm, onde os efeitos físicos tem que ser muito bem conhecidos para usar bem esses dispositivos.

F3 apresenta uma visão um pouco distinta dos demais formadores. Novamente, ele ressalta a necessidade de não se pensar apenas no mercado de trabalho regional, mas preparar engenheiros para que possam competir com os profissionais de outros países. Além disso, se há pretensão em formar engenheiros que conheçam a fundo as

tecnologias já presentes no mercado de trabalho, a FMC se faz necessária.

F3: O mercado de trabalho é global. Então, essa ideia de pensar no mercado de trabalho não faz sentido; o mercado é global, então não podemos formar pessoal com conhecimentos do século XIX. É um absurdo. Como é possível que o Brasil com posição de destaque no mundo fique pensando em formar pensando no mercado. Que bobagem é essa? O pessoal que trabalha como engenheiro tem que poder discutir e competir com colegas do mundo inteiro. E se você tem essa visão e é algo tão óbvio, será que vai precisar de conhecimentos da equação de Schrödinger? Sim, se queres entender porque tem corrente num óxido, num transistor. Se você imagina que engenheiro é um cara que coloca um paletó e abre um *laptop*, realmente não precisa nada, mas isso não é um engenheiro.

Percebemos, de modo geral, uma divisão nas opiniões dos entrevistados em relação a uma formação global e uma formação que esteja voltada mais aos aspectos regionais, ao que a indústria próxima necessita. Silveira (2005) traz alguns exemplos de universidades em nosso País que se preocupam em formar engenheiros voltados ao mercado regional, principalmente pelos convênios com indústrias locais. No entanto, há também àquelas que se preocupam com uma formação mais abrangente, não necessariamente atendendo a região da instituição. Como já mencionado no trabalho, a legislação para os cursos de Engenharia apresenta características desejáveis e importantes para a formação do profissional engenheiro, mas fica a critério de cada IES definir o perfil de formação que deseja, ou seja, a instituição tem liberdade para estabelecer um perfil mais voltado ao mercado local ou não. Compreendemos, desse modo, que esse fator também leva a implicações nos conhecimentos ensinados nos cursos. Como há cursos mais voltados às indústrias locais – e estas buscam determinado perfil de engenheiro que não necessariamente precisa de um extenso conhecimento de Física, Cálculo e Química, incluindo conhecimentos de FMC –, não é surpresa que esses conhecimentos não se façam presentes nos cursos.

Para finalizar esta seção, trouxemos as repostas dos formadores sobre a FMC na sua formação inicial. Quatro dos dez entrevistados (F3, F4, F7, F8) mencionaram que tiveram algo a respeito desses conhecimentos na graduação, mas não identificam ao certo quais conteúdos foram. Outros três formadores tiveram contato com a FMC na pós-graduação: dois deles (F6, F9) em disciplinas; e outro devido ao próprio projeto de pesquisa (F2). E os demais não tiveram nenhum contato. F9, um dos formadores que teve FMC apenas na pós-graduação, relata que esses conhecimentos fizeram falta na sua atuação como pesquisador na universidade, no entanto, afirma que: “[...] se eu tivesse ido para indústria, eu tenho certeza que não faria”.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Enfim, chega o momento de encerrar este trabalho ou, pelo menos, esta primeira etapa. Uma pesquisa que se iniciou a partir de uma caminhada muito incerta, que trouxe consigo muitas dúvidas, mas que, com o passar do tempo, foi criando estruturas, se aperfeiçoando, e hoje está concretizada por meio desta dissertação.

O desejo inicial da pesquisa foi compreender a importância da FMC na formação e atuação de engenheiros, e, para isso, optamos por conversar com formadores e engenheiros que atuam em indústrias, a fim de identificar e analisar suas concepções a respeito do tema. Como a Engenharia não é nossa formação inicial, o trabalho teve de ser organizado de forma que pudéssemos, aos poucos, compreender esse universo e suas relações com os conhecimentos de Física.

A organização se deu, então, por meio de seis capítulos. No primeiro deles, abordamos um breve histórico sobre a Física construída a partir do século XX, explicitando, assim, o que estamos chamando de FMC. Nesse capítulo, trouxemos também algumas implicações tecnológicas decorrentes desse avanço científico e propostas e incentivos do Governo para que essas tecnologias sejam desenvolvidas no País. Isso nos mostra, de certa forma, que o Brasil está buscando (ainda que de maneira singela) esse desenvolvimento tecnológico e, para isso, espera-se mão de obra qualificada, que conheça os fundamentos necessários e esteja capacitada a P&D. Encerrando esse primeiro capítulo, apresentamos algumas pesquisas sobre o Ensino de FMC na Educação Básica, tema este que vem se consolidando nos últimos 20 anos na literatura em ensino de Ciências. Apesar de ser algo frequente na Educação Básica, não encontramos um considerável número de pesquisas que discutam sobre essa temática nos cursos de Ensino Superior, como o caso das engenharias.

O capítulo 2 foi dedicado à apresentação do profissional engenheiro e sua formação. Buscamos conhecer a identidade desse profissional, suas possibilidades de atuação no mercado de trabalho e o que os documentos oficiais preveem para seu processo formativo. Nesse momento, então, começamos a entrar nesse universo. A partir da pesquisa, percebemos que o engenheiro tem tanto uma formação quanto uma atuação de múltiplos enfoques. O engenheiro deste século depara-se com um mercado de trabalho que exige uma vasta lista de

competências e habilidades para atender a demanda da sociedade moderna. Ao mesmo tempo em que a profissão mantém suas origens num profissional ligado à técnica, as grandes mudanças que as tecnologias trouxeram para o modo de viver das pessoas afetaram diretamente o modo de trabalho dos engenheiros nos últimos anos. Como consequência desse processo, espera-se um profissional apto a utilizar e desenvolver novas tecnologias, que consiga refletir sobre os impactos sociais, econômicos e ambientais desses desenvolvimentos, além de um profissional voltado para inovação, com bom relacionamento interpessoal, espírito empreendedor, que possua conhecimentos de administração e que seja flexível às mudanças do mercado. Abre-se um leque de oportunidades de trabalho que vem acompanhado de uma gama de exigências sobre o perfil desse profissional. O currículo precisa, desse modo, ser adequado para preparar o engenheiro para o mercado deste século. Ao analisarmos o currículo proposto pelas DCNCE, encontramos a Física como parte integrante desse processo. Porém, tais diretrizes não trazem especificações sobre conteúdos e CH, apenas apontam a necessidade de se proporcionar atividades experimentais nessa disciplina. Portanto, fica a cargo de cada IES elencar os conteúdos de Física que são necessários para cada curso proposto. Devido à tradição da Física Clássica nos currículos e nenhum direcionamento em relação à FMC, por parte de documentos oficiais, não é surpresa que esses elementos sejam ausentes em muito dos currículos de Engenharia pelo Brasil.

Ao procurar, na literatura, sobre o Ensino de Física nos cursos de Engenharia, percebemos que é praticamente nulo o número de trabalhos dedicados à discussão do papel da Física na formação de engenheiros, bem como nenhuma discussão sobre o currículo de Física dos cursos de Engenharia. A grande parte dos trabalhos se atém a questões metodológicas das disciplinas de Física nesses cursos. No entanto, como pudemos observar nas falas de engenheiros e formadores, há uma grande insatisfação quanto à Física ensinada no ciclo básico dos cursos (como a distância entre a teoria e a realidade profissional, a excessiva CH, evasão dos alunos etc.), o que aponta para a necessidade de se refletir um pouco mais sobre o papel e o currículo dessa disciplina nos cursos de Engenharia e ampliar discussões sobre aspectos metodológicos.

Em relação à FMC, especialmente, foi encontrado um total de dez trabalhos na literatura. Apesar de ser um número pequeno, já nos

mostra uma preocupação por parte dos formadores (sejam engenheiros ou físicos) em que se discuta esse aspecto na formação de engenheiros. Entre os trabalhos encontrados, percebemos um foco maior dos autores na necessidade desses conhecimentos para o desenvolvimento tecnológico, a fim de gerar riquezas para o País, deixando um pouco de lado a preocupação em capacitar esses profissionais a entender o funcionamento das tecnologias e refletir sobre suas implicações sociais, ambientais etc. Em relação aos cursos mais citados nesses trabalhos, ou seja, aqueles que apresentaram maior aproximação com conhecimentos de FMC, os que mais apareceram foram as modalidades Elétrica, Eletrônica e Computação (o que, em partes, se aproxima da nossa amostra composta pelas modalidades Elétrica, Eletrônica e Materiais).

No terceiro capítulo, nos dedicamos a apresentar o percurso metodológico da pesquisa. Justificamos a escolha de nossa amostra, a qual se constituiu de oito engenheiros que atuam em indústrias (quatro egressos da UFSC e quatro da UNIFEI) e cinco formadores de cada uma dessas universidades. Relatamos também quais seriam os instrumentos de coleta e análise de dados.

O capítulo 4 foi dedicado à análise das estruturas curriculares dos cursos de Engenharia da UFSC (*campus* CTC) e da UNIFEI (*campus* Itajubá), com o intuito de verificar se conteúdos de FMC estão presentes nos currículos dos cursos, quais desses conteúdos vêm sendo privilegiados e as respectivas CH. Essa etapa teve por objetivo tanto analisar se a FMC vem sendo apresentada quanto nos auxiliar a questionar os formadores sobre o currículo de Física proposto. Constatamos que grande parte dos cursos já trazem disciplinas que abordam FMC, mesmo destinando pouca CH a esses conhecimentos. Nos casos dos cursos da UFSC, a Engenharia de Materiais e de Eletrônica foram aquelas que obtiveram a porcentagem mais representativa da presença de FMC nas disciplinas de Física, cerca de 35% e 24%, respectivamente. Ou seja, para o curso de Materiais, por exemplo, um pouco mais de um terço da Física estudada pelos futuros egressos são conteúdos de FMC. Nos demais cursos, essa porcentagem se mostra pequena, apenas cerca de 3%.

No caso dos cursos da UNIFEI, a grande maioria apresenta FMC apenas ao final da disciplina de Física IV, destinando uma pequena CH a esses conteúdos. Alguns cursos como Elétrica, Eletrônica e Computação abordam um pouco de FMC em disciplinas específicas. A grande surpresa foi o curso de Engenharia de Materiais, o qual não

apresenta nenhum conteúdo de FMC, nem mesmo a disciplina de Física IV. Uma modalidade que, a nosso ver, está fortemente ligada a estudos da estrutura da matéria e que necessitaria de um conhecimento mais aprofundado sobre esses conteúdos.

Em relação às ementas das disciplinas, tanto da UFSC quanto da UNIFEL, percebemos que, de modo geral, o conteúdo abordado se restringe mais à “velha MQ”, abordando os limites entre a natureza clássica e quântica, mas não adentrando na MQ construída a partir da década de 1920. Além disso, os livros-texto utilizados são, em grande parte, livros de Física Básica, os quais apresentam um nível menos avançado, tanto conceitual quanto em relação ao formalismo matemático.

No quarto e quinto capítulos, foram apresentadas, então, as concepções de formadores e engenheiros sobre a importância da FMC na formação e atuação de engenheiros. A análise das entrevistas com esses profissionais geraram alguns pontos-chave, os quais apresentam grande influência sobre a relação da FMC com a prática da Engenharia e a formação dos profissionais.

- Perfil do profissional engenheiro: corroborando com o que foi encontrado na literatura, as falas dos formadores e engenheiros também apontam para um profissional de múltiplos enfoques. No entanto, as entrevistas deixaram transparecer que cada vez mais o mercado busca um engenheiro (em especial, no início da carreira) com bom relacionamento interpessoal, boa comunicação, proativo, empreendedor, flexível; e, com o passar dos anos, conforme adquire experiência, esse profissional vai se aperfeiçoando e buscando cargos relativos à administração e gerência. Um bom embasamento científico é algo fortemente presente na sua formação, tanto em disciplinas básicas quanto em disciplinas profissionalizantes, no entanto, não aparece nas entrevistas como um ponto de destaque ou algo que caracteriza os cursos. Nem mesmo no momento da contratação pelo mercado de trabalho, uma formação sólida e extensa em disciplinas como Cálculo, Física e Química, por exemplo, é privilegiada em detrimento a outros quesitos desejáveis num engenheiro. Conforme mencionado no capítulo 6, “[...] as escolas de engenharia tendem a ser menos valorizadas pela formação científica que propiciam aos alunos [...] do que por aspectos relacionados à formação técnica e operacional” (IEL,

2006, p. 68). Compreendemos, desse modo, que esse fator influencia, por exemplo, na escolha dos conteúdos das disciplinas do ciclo básico, como a Física. O que já vem sendo proposto ao longo dos anos se torna suficiente para a formação dos engenheiros. Não se vê a necessidade de aprofundar mais a formação científica dos estudantes nesse quesito ou mesmo escolher conteúdos da FMC e deixar de lado alguns conteúdos da Física Clássica de acordo com as necessidades da profissão. Na visão do formador F1, por exemplo, isso dificultaria ainda mais o ciclo básico dos estudantes, contribuindo para uma maior taxa de evasão. Todavia, essa não é a visão de todos os formadores. Conforme explicitado no capítulo anterior, há aqueles que concordam que os alunos necessitam ter esses conhecimentos durante a graduação.

- Desenvolvimento de tecnologias: ficou evidente nas falas dos entrevistados a tradição do Brasil na importação e adaptação de tecnologias no mercado brasileiro, ficando em segundo plano o investimento para que se desenvolvam produtos no País. Não apenas nas entrevistas, mas em trabalhos como SBF (2007) e IEL (2006), é relatado o baixo investimento do governo federal nesse setor, além de altos juros e pouco incentivo fiscal para que empresas invistam em P&D. Apesar de o Brasil já investir nos setores de nanotecnologia e semicondutores, tecnologias que surgiram graças ao avanço da FMC, tal investimento ainda é muito discreto se comparado a outros países. Esse é outro fator, em nossa visão, que contribui para o não aparecimento (ou aparecimento singelo) da FMC na estrutura curricular dos cursos. Metade dos engenheiros que atuam em indústrias, assim como um pouco mais da metade dos formadores entrevistados, mencionou que só há a necessidade desses conhecimentos em algumas áreas, especialmente em P&D, em que é necessário ter um conhecimento aprimorado de conhecimentos de base como a Física. Para os demais casos, esses conhecimentos tornam-se dispensáveis (ou não prioritários, visto o extenso currículo que é necessário cumprir). Dispensáveis até mesmo para os futuros profissionais conhecerem o que está por trás do desenvolvimento tecnológico, a fim de capacitá-los a entender o funcionamento e a julgar as implicações sociais, ambientais, políticas e econômicas desse desenvolvimento.

- FMC na atuação dos engenheiros: percebemos, por meio das entrevistas, que a FMC se faz pouco presente na atuação dos profissionais. Apenas três dos engenheiros que fizeram parte da pesquisa utilizam no momento ou já utilizaram, de alguma forma, esses conhecimentos no seu ofício. Alguns entrevistados deixam claro que lidar com esses conhecimentos é para poucos, para áreas muito específicas, especialmente de desenvolvimento tecnológico. A grande parte desses profissionais trabalha com aspectos mais técnicos ou, aqueles com mais experiência, atuam na administração/gerência. Alguns apontam ainda que é algo promissor para o futuro, mas que não é realidade ainda na Engenharia do Brasil. Além disso, percebemos mediante as entrevistas que, de modo geral, “[...] as perguntas dos engenheiros são outras”. Ou seja, apesar de tratarem muitas tecnologias como “caixas pretas”, isso não se torna um problema ou, muito menos, desqualifica o trabalho desses profissionais. Grande parte deles está preocupada em como utilizar da melhor maneira possível determinada tecnologia ou como desenvolver outros produtos e inovações utilizando tecnologias já prontas, ou seja, “juntando peças”, como mencionado pelo formador F1: “[...] você consegue um desenvolvimento tecnológico tão rápido hoje em dia somando coisas que já existem aí, e sempre sai uma inovação [...] você vai sempre ter uma evolução tecnológica maior juntando coisas que já estão prontas”. É importante ressaltar que esses processos são tão importantes quanto o desenvolvimento de base em si. No entanto, compreendemos que deveriam ser formados profissionais para ambos os casos: desenvolvimento de base e utilização desse desenvolvimento. Conforme uma analogia construída pelo professor Frederico Firmo de Souza Cruz (2013) durante a análise do projeto de dissertação, um músico pode conhecer a harmonia sem saber exatamente as notas que formam um acorde. Ele consegue fazer grandes coisas com os acordes que já estão prontos, porém é necessário instrumentalizar pessoas para diferentes funções. Se apenas o resultado fosse importante, não seria interessante que alguém soubesse criar mais acordes, apenas faziam-se as harmonias. Desse modo, a música se tornaria muito pobre. É necessário ter pessoas que façam acordes e pessoas que os utilizem para fazer

harmonias. Da mesma forma como no caso da Engenharia, compreendemos que é necessário instrumentalizar pessoas tanto para desenvolver tecnologias quanto para utilizá-las na criação de novos produtos.

Gostaríamos de ressaltar, neste momento, que não estamos defendendo o avanço da Ciência e Tecnologia de modo “desenfreado”; pelo contrário, compreendemos que tais conhecimentos são necessários para que os futuros profissionais conheçam e possam atuar conscientemente em temas tão polêmicos e que afetam diretamente a população – por exemplo, a energia nuclear e a nanotecnologia.

Voltando ao nosso problema de pesquisa – **qual a importância da Física Moderna e Contemporânea na formação e atuação de engenheiros, segundo a concepção de formadores e engenheiros que atuam em indústrias?** –, concluímos que há opiniões diversas entre esses profissionais, justificadas por todos esses elementos citados anteriormente. Em relação aos formadores, grande parte acredita que a FMC é algo importante, mesmo sendo algo pouco presente na atuação desses profissionais. Os formadores das modalidades Eletrônica e Materiais são aqueles mais favoráveis a esses conteúdos. Já para a Engenharia Elétrica, esses conhecimentos aparentam estar mais distantes. Para alguns formadores, apesar de a FMC não ser tão presente ainda na prática da Engenharia, ela é algo promissor para o futuro. Já em relação aos profissionais que atuam em indústrias, com exceção de três engenheiros, a FMC não é presente em seus ofícios e é pouco importante, visto as possibilidades de atuação no mercado de trabalho nacional.

Gostaríamos, com esta pesquisa, de apontar reflexões tanto para os profissionais da Física que atuam em cursos de Engenharia quanto (e principalmente) para os formadores da Engenharia, que são os responsáveis majoritários pela elaboração dos cursos. É nosso desejo que esses profissionais reflitam acerca do engenheiro que pretendem formar e de como a FMC pode auxiliar nesse perfil, visto o que foi apresentado ao longo deste trabalho. Compreendemos que é necessário pensar também numa formação continuada. Mesmo para aqueles que cursam Física, a graduação não é o suficiente para amadurecer conteúdos como os de FMC. No entanto, é possível instrumentalizar esses profissionais para que, quando necessário, se especializem nesses conhecimentos. Acreditamos que cortar esses conteúdos da graduação

não é melhor o caminho, mas sim preparar esses egressos para que consigam se aprofundar nesses conhecimentos, caso haja interesse.

Como a discussão sobre esse assunto é algo relativamente novo, ainda há muitas questões em aberto, as quais não foram possíveis abarcar com este trabalho. Apontamos, assim, as seguintes sugestões para futuras pesquisas:

- Como a FMC é tratada nos currículos dos cursos de Engenharia dos países com alto índice de desenvolvimento tecnológico? Como pudemos observar na pesquisa, tanto os formadores quanto os egressos relacionaram a pequena importância dada aos conteúdos de FMC nos cursos de Engenharia com a pouca possibilidade de atuação dos engenheiros no desenvolvimento de tecnologias (atuação na qual seriam essenciais esses conhecimentos). Isso nos leva a questionar como se dá a formação dos engenheiros em países que possuem alto índice de desenvolvimento tecnológico. Além disso, fica a cargo apenas dos engenheiros esse desenvolvimento ou a necessidade desses conhecimentos de base são atreladas ao profissional físico que atuará em parceria com engenheiros?

- Quais os conteúdos de FMC mais importantes para os engenheiros ou para cada modalidade de Engenharia? Nas pesquisas encontradas na literatura, bem como nas entrevistas que realizamos ao longo da investigação, não está evidente quais são os conhecimentos de FMC necessários ao profissional engenheiro e nem como esse fator varia de acordo com cada modalidade. Seria importante a realização de pesquisas que se aprofundassem nesse quesito, fazendo apontamento mais específicos em relação a esses conhecimentos que possam auxiliar os formadores na elaboração dos currículos dos cursos.

- A FMC nas Engenharias e os estudos CTS. Compreendemos que o tema da pesquisa é intrínseco às relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, apesar de não ter sido o foco do nosso trabalho. Visto, por meio da pesquisa, as relações que a FMC possa ter com a Engenharia, compreendemos ser de suma importância que pesquisas sejam desenvolvidas a fim de refletir como ensinar esses conhecimentos numa perspectiva CTS, não apenas visando única e exclusivamente o desenvolvimento científico e tecnológico.

A partir deste cenário, acreditamos e desejamos que mais pesquisas sejam desenvolvidas nessa área, a fim de ampliar as compreensões sobre a importância da FMC na Engenharia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO M.; FINN E.J., **Física: um curso básico**, v. 2, 10. ed. São Paulo: editora Edgar Blucher Ltda, 2004.

ALVES, E. G.; SILVA, A. F. **Usando um LED como fonte de energia**, v. 9, n. 1, p. 26-28, 2008.

BAZZO, W. A.; LINSINGEN, I. V.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução aos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)**. Madri: Organização dos Estados Ibero-Americanos, 2003.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. Desenvolvimento tecnológico: onde podemos ou queremos chegar? IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIV, Blumenau, 2011. **Anais...** Blumenau: ABENGE, 2011.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução à Engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. Florianópolis: editora UFSC, 2006. 270 p.

BEZERRA JR, A. G.; et al. Inovação no Ensino de Física Moderna nos cursos de Engenharia da UTFPR. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVIII, Fortaleza, 2010. **Anais...** Fortaleza: ABENGE, 2010. p. 1- 10.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. K. **Investigação Qualitativa em Educação**: uma introdução à teorias e métodos. Porto: Porto Editora, 1994. p. 336.

BORGES, A. T. Novos Rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis**, v. 19, n. 3, 291-313, 2002.

BRASIL , PCN+ Ensino Médio: **Orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, 9 abr.2002.

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.

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais.** São Paulo: Cortez, 1995.

CORDEIRO, J. S. et al. Um futuro para a educação em engenharia no brasil: desafios e oportunidades. **Revista de Ensino de Engenharia**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 69-82, 2008.

CRESTANA, S. Internacionalização da inovação Brasileira. In: 4ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação. Textos para discussão da 4ª CNCTI. Brasília, 2010.

CUNHA, L. S. et al. A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia do Estado de Minas Gerais. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVI, São Paulo, 2008. **Anais...** São Paulo: ABENGE, 2008. p. 1-7

DE SOUZA CRUZ, F. F. Comunicação pessoal. Análise de projeto de dissertação. 02 de julho de 2013.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica.** Rio de Janeiro: editora Campus, 1986.

FERREIRA, N. S. A. As pesquisas denominadas “estado da arte”. **Educação & Sociedade**, ano XXIII, n. 79, 2002.

FREIRE JR., O. Novo tempo, novo espaço, novo espaço-tempo. Breve história da Relatividade. In: ROCHA, J. F. M. (Org). **Origens e Evolução das Ideias da Física**, Salvador: EDUFBA, 2011.

GARCIA, T. et al. A utilização dos conceitos de Física e Robótica Educacional para aumentar o interesse pelos cursos de engenharia. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XL, Belém, 2012. **Anais...** Belém: ABENGE, 2012.

HALLIDAY D.; RESNIC R.; KRANE K. S. **Física 4**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HALLIDAY, D. e RESNICK, R. WALKER, J.- **Fundamentos de Física**. vol.3, 4; Rio de Janeiro: LTC 1984.

_____. **Fundamentos de Física**. vol. 4; Rio de Janeiro: LTC 2009.

HAWKING, S.; MLODINOW, L. **Uma nova história do tempo**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.

INSTITUTO EUVALDO LODI. Núcleo Nacional. **Inova engenharia: propostas para a modernização da educação em engenharia no Brasil**. Brasília: IEL., 2006.

LAWALL, I. T.; et al. Dificuldades de Professores de Física em Situação de Inovações Curriculares e em Curso de Formação. In: XII EPEF - Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2010, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** São Paulo: SBF, 2010.

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.

LEMES, T. C.; REZENDE JUNIOR, M. F.; CHIARELLO, A. G. A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de engenharia da Universidade Federal de Itajubá. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVII, Recife, 2009. **Anais...** Recife: ABENGE, 2009. p. 1- 9.

LEONEL, A. A. **A nanociência e nanotecnologia: uma proposta de ilha interdisciplinar de racionalidade para o ensino de Física**

Moderna e Contemporânea no ensino médio. 2010. 215 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

LISBOA, A. C.; PIQUEIRA, J. R. C. A disciplina de “Teoria Quântica da Informação”: experiência de criação e oferecimento no programa de pós-graduação em engenharia Elétrica da EPUSP. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIX, Blumenau, 2011. **Anais...** Blumenau: ABENGE, 2011. p. 1- 7.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. **A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas.** São Paulo: EPU, 1986.

MACHADO, V.; PINHEIRO, N. A. M. Investigando a metodologia dos problemas geradores de discussões: aplicações na disciplina de Física no ensino de Engenharia. **Ciência e Educação.** Bauru, vol.16 n. 3, 2010.

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. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIV, Passo Fundo, 2006. **Anais...** Passo Fundo: ABENGE, 2006. p. 12.1-12.10.

MARRAGHELO, G. F.; PAVANI, D. B. Utilizando uma câmera fotográfica digital como ferramenta para distinguir as cores das estrelas. **Física na Escola**, v. 12, n. 1, p.20-26, 2011.

MASSON, J. T. et al. Ensino de Física Tecnológica. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIII, Campina Grande, 2005. **Anais...** Passo Fundo: ABENGE, 2005. p.1-18.

MCKAGAN, S. B.; PERKINS, K. K.; WIEMAN, C. E. Reforming a large lecture modern physics course for engineering majors using a PER-based design. In: PHYSICS EDUCATION RESEARCH CONFERENCE. **Proceedings...** Nova Iorque: 2006

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência e Educação**. Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

MORAES, R.; GALIAZZI, M, C. **Análise Textual Discursiva**. Ijuí: Unijuí, 2007. 223 p.

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, 2006.

NUSSENZVEIG, H.M., **Curso de Física Básica**. v. 2, 4. ed. São Paulo: editora Edgar Blucher Ltda, 2006.

OLIVEIRA, V. F. Crescimento, evolução e o futuro dos cursos de engenharia, *Revista de Ensino de Engenharia*, Brasília, v. 24, n. 2, p. 3-12, 2005.

OSTERMANN, F. Um texto para professores do Ensino Médio sobre partículas elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física** , vol. 21, n. 3, Setembro, 1999.

OSTERMANN, F., CAVALCANTI, C. J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 3, p. 267-286, dez. 1999

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.; Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio". **Revista Investigações em Ensino de Ciência**, v. 15, n. 1, 2000.

OSTERMANN, F; MOREIRA, M. A. Física contemporânea em la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona: v.18, n.3, p.391-404, 2000.

PERFOLL, A. P.; REZENDE JUNIOR, M. F. A Física Moderna e Contemporânea e o ensino de engenharia: contextos e perspectivas. IN:

CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIV, Passo Fundo, 2006. **Anais...** Passo Fundo: ABENGE, 2006. p. 11.55-11.68.

PIETROCOLA, M. Modern Physics In Brazilian Secondary Schools. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS EDUCATION, Nova Delhi, 2005. **Anais...** Nova Delhi: ICPE, 2005.

PÓVOA, J. M.; BENTO, P. E. G. O engenheiro, sua formação e o mundo do trabalho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, XXXIII, 2005, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: ABENGE, 2005.

PROPOSTA CURRICULAR DE SANTA CATARINA. SECISC, Florianópolis, 1998.

REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, W. **Fundamentos da Teoria Eletromagnética**. Rio de Janeiro: editora Campus, 1982.

REZENDE JUNIOR.; DE SOUZA CRUZ, F.F. Física moderna e contemporânea na formação de licenciandos em física: necessidades, conflitos e perspectivas. **Ciência e Educação**, vol. 15, n. 2, 2009.

RICARDO, E. C.; CUSTÓDIO, J. F.; REZENDE JUNIOR, M. F. A tecnologia como referência dos saberes escolares: perspectivas teóricas e concepções dos professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 135-147, 2007.

RODRIGUES, A.; PIETROCOLA, M. PIQUEIRA, J. R. C. Elaboração de uma sequencia didática de ensino-aprendizagem com tópicos de Mecânica Quântica para cursos de engenharia. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIX, Belém, 2012. **Anais...** Belém: ABENGE, 2012. p. 1- 11

SEREIA et al. Nanociência e Nanotecnologia: políticas públicas no Brasil. IN: XIV SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, 2011. **Anais...** São Paulo: 2011.

SERWAY, R.A. **Física para Cientistas e Engenheiros**, vol. 2, 3 e 4, Rio de Janeiro: LTC, 1996.

SHULZ, P. A. B.; O que é Nanociência e para que serve a Nanotecnologia? **Física na Escola**, v. 6, n. 1, 2005.

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.

SILVA, D. B. C.; SAMPAIO, R. P. R.; FONSECA, W. S. Avanço científico e revolução tecnológica: um estudo da contribuição da Física Quântica aplicada à Engenharia Civil. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXIX, Blumenau, 2011. **Anais...** Blumenau: ABENGE, 2011. p. 1- 10.

SILVEIRA, M. A. **A formação do engenheiro inovador**: uma visão internacional. PUC-Rio de Janeiro: PUC-RIO, 2005.

SILVEIRA, M. A. G.; SANTOS, R. B. B. Física Moderna da Formação Contemporânea em Engenharia. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XXXVI, São Paulo, 2008. **Anais...** São Paulo: ABENGE, 2008. p. 1-17

SILVEIRA, M. A.; ARAÚJO, M. A. V. Algumas sugestões sobre perfis de formação em engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 17-25, 2005.

SIQUEIRA, L. L. M.; TORRES, P. L. O ensino híbrido da eletricidade utilizando objetos de aprendizagem na engenharia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 2, p. 334-354, 2010.

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.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. O espalhamento Rutherford na sala de aula. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, 2010.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M.; UETA, N. A Física Moderna e Contemporânea em sala de aula; uma atividade com os raios-X. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - SNEF, 2007, São Luiz. **Anais...** São Paulo : SBF, 2007

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA - SBF. **Física para o Brasil: pensando o futuro.** São Paulo: livraria da Física, 2005. 248p.

_____. **Física para um Brasil competitivo.** Brasília, 2007. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/publicacoes/FisicaCapes.pdf. Acesso em: 20 fev. 2013.

SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA – SBPC. **Ciência, Tecnologia e Inovação para um Brasil competitivo.** São Paulo: SBPC, 2011.

SOUZA, A.P. G.; LAWALL, I. Inovação curricular de Física Moderna: motivações, dificuldades e mudanças na prática docente. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IX, 2011. **Anais...** Campinas: ABRAPEC, 2011.

STANKOWSKI, S. The "physical thinking": can we teach such a thing?, In: 7TH CONFERENCE ON PHYSICS TEACHING IN ENGINEERING EDUCATION, Mannheim: 2011.

STANKOWSKI, S. The role of physics in engineering education, In: 5TH CONFERENCE ON PHYSICS TEACHING IN ENGINEERING EDUCATION, Delft: 2007.

TELLES, P.C. S; **História da engenharia do Brasil.** Rio de Janeiro: LTC. Editora S. A., 1984.

TERRAZAN, E. A.; A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.9, n.3, p.209-214, 1992.

TIPPLER, P.A.;LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna.** Rio de Janeiro: LTC, 2006

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: A** pesquisa Qualitativa em Educação. São Paulo: Atlas, 1987.

VALADARES, E. C.; CHAVES, A.; ALVES, E. G. **Aplicações da Física Quântica: do transistor à nanotecnologia.** Temas Atuais de Física. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

VILLAS-BOAS, V.; MOSSMANN, V., L., F. Luz, câmera, ação: uso de filmes “hollywoodianos” como estratégia pedagógica no ensino de Física para estudantes de engenharia. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, XL, Blumenau, 2012. **Anais...** Belém: ABENGE, 2012.

ANEXO 1 – Roteiro de entrevista com engenheiros



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Programa de Pós-Graduação em Educação
Científica e Tecnológica



Projeto de pesquisa: A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de Engenharia e na indústria: concepções dos formadores e engenheiros e atuação

Nome

completo: _____

Data de nascimento: ____/____/____

Formação: _____ Ano de formação: _____

Instituição: _____

Empresa na qual trabalha atualmente: _____

Cargo: _____

1 - Quais os critérios adotados para a contratação de profissionais engenheiros na empresa em que você atua (currículo, experiência, algo em específico)? Quais critérios você acredita que levaram à sua contratação?

2 - Qual o perfil de formação mais buscado atualmente (aquele que privilegia a técnica, o conhecimento científico, conhecimentos administrativos, comprometimento com questões sociais, habilidades comportamentais)?

3 - Nesta empresa/indústria, são produzidas inovações tecnológicas? Quais?

4 - Você considera que a área de atuação desta empresa/indústria tem alguma contribuição para o desenvolvimento estratégico do País? Por quê?

5 - Como foi sua formação no que diz respeito aos conteúdos de Física? Houve maior ênfase em determinados conteúdos (Exemplos: Mecânica,

Termodinâmica, Eletromagnetismo, Óptica, Física Moderna e Contemporânea)? Em média, quantas disciplinas de Física você cursou?

6 - Você teve alguma disciplina na graduação que abordasse conteúdos de Física Moderna e Contemporânea? Em caso afirmativo, quais conteúdos? Esses conteúdos estavam presentes nas disciplinas de Física ou nas disciplinas específicas da sua área de formação?

(Alguns exemplos de conteúdos relacionados à Física Moderna e Contemporânea são: semicondutores, supercondutores, *lasers*, efeito fotoelétrico, raio-X, nanotecnologia, estrutura da matéria, interação luz-matéria, física quântica, relatividade restrita).

7 - Que conhecimentos de Física são necessários/exigidos para o desempenho da sua função na indústria? É possível identifica-los?

8 - Qual a importância dos conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea na sua formação? E na sua prática profissional atual?

9 - O que você acha da Física ensinada na graduação em Engenharia que você cursou? Com relação à futura vida profissional dos graduandos? Você sentiu defasagem na formação inicial em algum aspecto? E, em relação aos conhecimentos de Física, em particular Física Moderna e Contemporânea?

10 - Que sugestões você daria para melhorias em relação aos conteúdos de Física abordados? E às aulas de Física, de forma geral?

11 - A empresa lhe proporcionou algum tipo de formação complementar? Em caso afirmativo, essa formação foi devido a alguma defasagem na formação inicial ou foi devido a alguma especificidade da empresa?

ANEXO 2 – Roteiro de entrevista com formadores



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Programa de Pós-Graduação em Educação
Científica e Tecnológica



Projeto de pesquisa: A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de Engenharia e na indústria: concepções dos formadores e engenheiros e atuação

Nome completo: _____
Data de nascimento: ____/____/____
Formação: _____ Ano de formação: _____
Instituição: _____
Pós-graduação: _____
Instituição em que trabalha: _____
Tempo que leciona: _____
Disciplinas que leciona atualmente: _____

1 - Qual o perfil do engenheiro que o curso visa formar? Qual o perfil do engenheiro mais buscado atualmente pelo mercado de trabalho?

2 - Qual o papel do conhecimento científico na formação do engenheiro?

3 - Em sua opinião, qual a relação do profissional engenheiro e o desenvolvimento de tecnologias? O egresso, hoje, é preparado para conhecer a fundo e desenvolver novas tecnologias? Isso é procurado pelo mercado de trabalho?

4 - Quais conhecimentos da Física você acredita que são mais importantes para a formação e atuação do engenheiro?

5 - Em relação à Física Moderna e Contemporânea, qual a importância desses conhecimentos para a formação do engenheiro?

6 - Quais conteúdos relacionados à Física Moderna e Contemporânea são mais relevantes para a formação do egresso?

7 - Ao olhar para o mercado de trabalho, como você enxerga a relação entre os conhecimentos de Física Moderna e Contemporânea e a atuação do engenheiro? Tais conhecimentos se fazem presentes no exercício profissional do engenheiro?

*Pretendemos questionar os formadores também sobre pontos analisados nos currículos dos cursos, especialmente sobre os conteúdos de FMC.

ANEXO 3 – Termo de consentimento livre e esclarecido



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Programa de Pós-Graduação em Educação
Científica e Tecnológica



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa como voluntário(a). A seguir, estão algumas informações e esclarecimentos sobre o estudo e, em caso de aceitar fazer parte da pesquisa, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua, e a outra, dos pesquisadores. Em caso de recusa, você não será penalizado de forma alguma. Dúvidas poderão ser esclarecidas com os pesquisadores relacionados a seguir.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Título do Projeto: A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de Engenharia e na indústria: concepções de formadores e de engenheiros em atuação.

Pesquisador Responsável: Prof. Dr. José Francisco Custódio Filho – Departamento de Física/UFSC. Contato: custodio@fsc.ufsc.br

Pesquisador participante: Ana Paula Grimes de Souza – Mestranda do Programa de Pós-Graduação Educação Científica e Tecnológica. Contato: (47) 99282416 – anagrimes@hotmail.com

Descrição da pesquisa

A pesquisa tem por objetivo investigar qual a importância da Física Moderna e Contemporânea para formação e atuação do profissional engenheiro. Para isso, serão realizadas entrevistas com formadores (docentes de cursos de Engenharia) da Universidade Federal de Santa Catarina e da Universidade Federal de Itajubá, além de

engenheiros que atuam em indústrias. Compreendemos que esse estudo é necessário para refletir acerca do Ensino de Física, em especial da Física Moderna e Contemporânea, nos cursos de Engenharia, pensando na necessidade desses conhecimentos para a formação e prática desses profissionais e para o desenvolvimento tecnológico no País.

IMPORTANTE: Os nomes dos participantes não serão divulgados em momento algum e todo o material coletado será utilizado apenas para finalidades da pesquisa. As entrevistas não trazem riscos ou desconforto para o entrevistado. Após a análise, a essência do material constituirá a dissertação de mestrado da pesquisadora Ana Paula Grimes de Souza. Em caso de maiores dúvidas, os pesquisadores estarão à disposição para esclarecê-las pelo correio eletrônico, pelo telefone ou pessoalmente.

Ana Paula Grimes de Souza
Pesquisadora Participante

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO

Eu, _____, RG/CPF _____, concordo em participar da pesquisa “A Física Moderna e Contemporânea nos cursos de Engenharia e na indústria: concepções de formadores e de engenheiros em atuação”. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pela pesquisadora Ana Paula Grimes de Souza e por meio desse termo sobre a pesquisa. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto me leve a qualquer penalidade ou prejuízo.

Joinville, ____ de _____ de 2013.

Assinatura