

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
IFSP – CAMPUS SÃO PAULO**

MARCELO FERREIRA DA SILVA

**INTERDISCIPLINARIDADE E O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**

SÃO PAULO

2017

MARCELO FERREIRA DA SILVA

**INTERDISCIPLINARIDADE E O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação Lato sensu em Formação de Professores com Ênfase no Ensino Superior do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de especialista.

Diretoria/Coordenadoria: Diretoria de Humanidades (DHU)/Pedagogia.

Orientador: Prof. Dr Thomas E. Filgueiras Filho

SÃO PAULO

2017

Ficha Catalográfica
Serviço de Biblioteca e Documentação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

S586i Silva, Marcelo Ferreira da.
Interdisciplinaridade e o método dos elementos finitos na
graduação em engenharia / Marcelo Ferreira da Silva. São Paulo: [s.n.],
2017.
53 f.

Orientador: Prof. Dr. Thomas Edson Filgueiras Filho.

Monografia (Especialização Lato Sensu em Formação de
Professores com Ênfase no Magistério Superior) - Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2017.

1. Ensino em engenharia 2. Interdisciplinaridade 3. Método dos
elementos finitos I. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de São Paulo II. Título

CDD 372

MARCELO FERREIRA DA SILVA

**INTERDISCIPLINARIDADE E O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação Lato sensu em Formação de Professores com Ênfase no Ensino Superior do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de especialista.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Prof. Dr Thomas Edson Filgueiras Filho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Prof. Prof. Dr Fulvio Bianco Prevot

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Prof^a. Dr^a. Priscila Braga Calíope

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia aos professores e pesquisadores do ensino em engenharia que percebem, de forma consciente ou não, o método dos elementos finitos como uma técnica que pode gerar oportunidades de integrar conhecimentos e valores diante da fragmentação do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus-Pai todo poderoso, criador do céu e da terra.

Ao IFSP, por me proporcionar esta via de formação docente.

Ao meu orientador Prof. Thomas Edson Filgueiras Filho, prezado mestre.

À Prof^a Alda Roberta Torres, pelas oportunidades de aprendizado.

Ao Prof. Fulvio Bianco Prevot, pelas inestimáveis contribuições a este trabalho.

À diretora de pós-graduação Prof^a Priscila Braga Calíope, pela sua liderança.

À Prof^a Amanda Cristina Teagno Lopes Marques, docente rigorosa e afável.

Ao pessoal da Coordenadoria de Registros Escolares, muito obrigado.

Aos demais professores da instituição que contribuíram com minha formação docente.

Aos colegas de curso pelas interações construtivas e momentos de descontração.

RESUMO

SILVA, Marcelo F. da. Interdisciplinaridade e o Método dos Elementos Finitos na Graduação em Engenharia. Monografia apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de especialista.

A partir do conceito de interdisciplinaridade, este trabalho discute a técnica do método dos elementos finitos (MEF) a partir da possibilidade de convergência entre disciplinas da graduação em engenharia. O problema de pesquisa centra-se na possibilidade de formação do engenheiro a partir de projetos interdisciplinares baseados em simulação numérica computacional, frente à crise do conhecimento fragmentado dos especialistas. É nesse contexto que esta pesquisa teve como objetivo principal identificar as possibilidades da interdisciplinaridade no ensino do método de elementos finitos nos cursos de engenharia. Para alcançar tal propósito, traçou-se alguns objetivos específicos como discutir e analisar a natureza epistemológica e a construção do conhecimento envolvido no ensino do MEF, além de também discutir e refletir sobre a interdisciplinaridade nesse contexto. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, bibliográfica, fundamentada em uma metodologia fenomenológica, a partir da discussão sobre educação tecnológica no âmbito da educação em engenharia. A fundamentação teórica baseou-se na contribuição de educadores e pesquisadores oriundos do campo de ensino da engenharia, além de Japiassu (1976) e Paulo Freire (2002). Como resultado, esta monografia aponta para o MEF não somente como aplicação de uma ferramenta numérica aplicada no ensino de engenharia, mas também como uma técnica que pode gerar oportunidades de integrar conhecimentos e valores diante da fragmentação do conhecimento.

Palavras-chave: Ensino em Engenharia – Interdisciplinaridade – Método dos Elementos Finitos

ABSTRACT

SILVA, Marcelo F. da. **Interdisciplinary and the Finite Element Method in graduate studies in Engineering**. A monograph submitted to the Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo, as a requirement for obtaining the title of specialist.

From the concept of interdisciplinary, this work discusses the technique of the finite element method (FEM) from the possibility of convergence between disciplines of graduation in engineering. The research question focuses on the possibility of the formation of the engineer from interdisciplinary projects based on numerical simulation theory, in the face of the crisis of fragmented knowledge of experts. It is in this context that this research has had as its main objective to identify the possibilities of interdisciplinary in teaching of the finite element method in engineering courses. To achieve this purpose, outlined some specific goals as to discuss and analyze the epistemological nature and the construction of knowledge involved in teaching the FEM, besides also discuss and reflect on the interdisciplinary in this context. This is a qualitative research, literature review, based on a phenomenological methodology, from the discussion on technological education in the context of engineering education. The theoretical foundation was based on the contribution of educators and researchers from the field of teaching of engineering, plus Japiassu (1976) and Paulo Freire (2002). As a result, this monograph points to the FEM not only as an application of a numerical tool applied in the teaching of engineering, but also as a technique that can generate opportunities to integrate knowledge and values for the fragmentation of knowledge.

Keywords: Teaching in Engineering – Interdisciplinarity – Finite Element Method

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Projeto com estrutura de casca pós-tensionada (University of Illinois)	19
Figura 2 – Projeto com estrutura de casca de concreto (por Oscar Niemeyer, Brasília)	20
Figura 3 – Casaca treliçada – planta e elevação	25
Figura 4 – Cúpula de estrutura de aço – planta e elevação	26
Figura 5 – Resultado das tensões nas barras, determinadas por programa FEM	31
Figura 6 – Uma cúpula com seus nós identificados de 1 – 252	32
Figura 7: Forças axial e de cisalhamento em um elemento casca sob carregamento	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNE – Conselho Nacional De Educação

COBENGE – Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia

CAPES – Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

IFSP – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira

FEM – Finite Element Method

MEF – Método dos Elementos Finitos

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NO ENSINO DA ENGENHARIA.....	15
2.1 Panorama da graduação em engenharia no Brasil.....	15
2.2 A formação do engenheiro baseada em projetos interdisciplinares.....	18
2.3 A simulação computacional como forma de materialização do conhecimento.....	24
3. O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA.....	30
4. CONTRIBUIÇÃO DA INTERDISCIPLINARIDADE NO ENSINO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....	39
5. A INTERDISCIPLINARIDADE E O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS: POSSIBILIDADES NO ENSINO DE ENGENHARIA.....	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

Esta monografia reflete minha aprendizagem decorrente do curso lato sensu em Formação de Professores com Ênfase no Ensino Superior realizado no Instituto Federal de São Paulo (IFSP), campus São Paulo, e mostra minhas inquietações quanto à docência e pesquisa surgidas em meu percurso profissional como engenheiro. Situa-se na linha de pesquisa “Formação de Professores”.

O desafio tem sido entender a formação baseada na reflexão e na crítica que venha a melhorar a docência junto ao ensino superior. O curso assim possibilitará a posterior continuidade de buscar o trabalho pela formação docente como professor na minha especialidade como engenheiro. É um desafio vir a atuar como docente universitário na área de exatas frente à tarefa de construção de uma escolha que responda às minhas necessidades atuais.

O percurso acadêmico ajudou-me a reorganizar conceitos e experiências que davam sentidos aos debates e temas que eram realizados no coletivo do curso da pós-graduação. Um caminho que clareou o direcionamento da luta na docência para a defesa da formação do professor com ênfase no magistério superior. A formação de professores, o ensino público, o acesso ao ensino de qualidade, a reflexão e o cidadão politicamente engajado foram temas discutidos durante o curso no IFSP.

O objetivo aqui nesse trabalho é colaborar com uma reflexão que contribua para a construção do conhecimento no IFSP, tendo como pano de fundo a discussão de uma interdisciplinaridade corroborada principalmente pelos pesquisadores da educação em engenharia. A partir da consideração de que esse espaço acadêmico têm muito a contribuir para a pesquisa e a melhoria do ensino superior é que se objetivou o desenvolvimento desta monografia. Utilizando como material empírico os trabalhos aprovados e apresentados por pesquisadores atuantes na área de educação em engenharia, este trabalho centra-se na definição da interdisciplinaridade alicerçada na formação de professores.

Acreditamos que os temas apresentados pelos autores, que adquiriram muito do seu conhecimento pedagógico a partir de sua própria investigação, e a interdisciplinaridade aqui discutida, são construídos a partir do olhar desses profissionais e pesquisadores. Pela prática

profissional e memória de formação, podem contribuir faces a novas pesquisas e saberes com os conceitos e aplicações voltados à formação de engenheiros.

Pelo aprendizado obtido no IFSP, vimos que no Brasil temos como uma referência no campo da Interdisciplinaridade, a literatura de Hilton Japiassu (1976), que propõem reflexões sobre a crise epistemológica dos experts, os especialistas do conhecimento, debatendo idéias sobre a formação do homem em sua integridade.

Com base nesse quadro referencial e a trajetória nessa pós-graduação do IFSP, muitas perguntas surgiram para esses trabalhos apresentados na área da educação: (1) que experiências contribuem ou discordam com interdisciplinaridade? (2) o que se entende por interdisciplinaridade? (3) quais os conceitos ensinados na interdisciplinaridade? (4) quais conceitos aparecem no dia-a-dia do professor de engenharia? (5) quais seus significados?

E a partir desses questionamentos propõe-se nessa monografia a pergunta “Quais as possibilidades da interdisciplinaridade no ensino do método de elementos finitos nos cursos de engenharia?”, que considera a importância e reconhecimento dos projetos e trabalhos na graduação de engenharia como oportunidade de uma interdisciplinaridade que vise a sedimentação de uma educação tecnológica nos cursos de engenharia. Para chegar a tal propósito, determinamos alguns objetivos específicos:

- Discutir a natureza epistemológica no ensino da especialidade engenharia.
- Analisar o papel do método dos elementos finitos no processo de construção do conhecimento na graduação engenharia.
- Discutir a natureza da contribuição da interdisciplinaridade no ensino do método dos elementos finitos.
- Refletir sobre as possibilidades da interdisciplinaridade no ensino do método dos elementos finitos.

Pretende-se com esse trabalho analisar e refletir sobre esses objetivos, e baseados nas referências bibliográficas e o conhecimento trabalhado e apreendido no IFSP, buscamos entender a realidade e possibilitar novas discussões sobre a interdisciplinaridade. A reflexão e discussão resultantes das informações bibliográficas de pesquisa representam a contribuição dessa monografia no campo da educação em nível superior.

Para tanto, no segundo capítulo (“A construção do conhecimento no ensino da especialidade engenharia”), procuramos vincular que uma grade curricular que fortalece o compartilhamento do conhecimento definem valores e referências no aprendiz que também compartimentarão a realidade, propiciando experiências vinculadas à fragmentação do conhecimento, o que caracterizará por sua vez o plano de ação do futuro engenheiro.

Argumentamos aqui que uma formação baseada em projetos cria oportunidades de crescimento, de superação de limites quando o aluno é desafiado a superar seus próprios limites e a consolidar o conhecimento até então apreendido no curso. O foco é perceber o sentido da totalidade do conhecimento quando se converge disciplinas distintas em um propósito de projeto que permite unificar uma teoria a partir de uma solução na prática. Neste contexto, a simulação computacional permite que o professor ganhe espaço para avaliar a concepção da solução proposta pelo aluno e o conhecimento apreendido durante as várias disciplinas do curso.

No terceiro capítulo (“O método dos elementos finitos no processo de construção do conhecimento na graduação em engenharia”), defendemos a ideia de que o MEF é o fator convergente da simulação computacional, no sentido de que sua aplicação, como técnica numérica, permite ao educando visualizar e criticar o resultado da teoria e metodologia estrutural envolvida (civil, mecânica, elétrica, materiais etc), através de recursos computacionais, superando o dualismo teoria versus prática.

No quarto capítulo (“4. Contribuição da interdisciplinaridade no ensino do método dos elementos finitos”), salientamos que com a possibilidade de enriquecimento epistemológico e metodológico que a aplicação do MEF nos traz, existe também o desafio de formar criticamente o aluno frente as simplificações inerentes em cada disciplina da engenharia, além do uso racional de recursos computacionais. O objetivo é evidenciar o lugar que a interdisciplinaridade impõe à docência universitária.

Com isso importa dizer que neste trabalho que a metodologia usada para análise dos textos referenciados fundamenta-se na fenomenologia, procurando extrair o que se compreende dos artigos selecionados, na busca dos sentidos por eles utilizados.

Concluimos que a presente reflexão insere-se em um movimento de articular as referências bibliográficas com os propósitos da interdisciplinaridade no ensino superior.

2. CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NO ENSINO DA ENGENHARIA.

2.1 Panorama da graduação em engenharia no Brasil

Referenciando Grimoni & Nakao (2004), o interesse educacional crescente pelo tema interdisciplinaridade deve-se à complexidade do mundo atual, que pode ser percebida como singular e heterogênea ao mesmo tempo. Segundo os autores, o mundo apresenta interesses amplos e conflitantes, de natureza contraditória e dialética. Para os autores De Francisco et al (2011), a interdisciplinaridade apresenta-se como solução na integração do conhecimento requeridas para a formação do profissional de engenharia frente aos desafios do mundo contemporâneo.

É nesse contexto que refletimos sobre o andamento da interdisciplinaridade no ensino de graduação em engenharia no Brasil, tanto em termos de formação acadêmica, quanto em termos de educação continuada e desenvolvimento profissional. Isso porque, um país como o Brasil, que tem como um entre tantos outros desafios, o progresso social inserido em um contexto em que o conhecimento aplicado em termos de novas tecnologias pode ser relevante na solução de seus problemas, torna-se necessário uma reflexão sobre o andamento do ensino de graduação em engenharia. Temos assim, um cenário formado por nossa demanda social crescente inserido em um meio de produção e disseminação de conhecimento tecnológico, em que nos parece razoável, por exemplo, repensar as condições de operação de nossos cursos de engenharia, ou a existência de feudos nas instituições de ensino, ou a existência de qualquer tipo de discriminação de uma especialidade acadêmica em relação a outra e, principalmente, sobre a existência de uma formação alienante em termos do papel do engenheiro na sociedade brasileira.

É a partir disso que qualquer eventual deficiência social, científica e tecnológica neste panorama requer atitudes emancipatórias que alterem, ou que, pelo menos minimizem a reprodução dessas anomalias. Como disse a Professora Maria Isabel da Cunha:

Atitudes emancipatórias também exigem conhecimentos acadêmicos e competências técnicas e sociais que configurem um saber fazer que extrapole os processos de reprodução. [] Isso significa que a competência situa-se, justamente em agir diferenciadamente para cada situação, a partir da leitura da cultura e das condições de produção do conhecimento que se estabelecem entre o professor e seus estudantes (CUNHA, 2006, p.17).

Assim, é notório nos dias de hoje o aumento das exigências de qualificação educacional, o que significa que passa a ter relevância o preparo pela busca de novos saberes diante de um cenário acadêmico-profissional globalizado. Agir diferentemente para cada situação, no contexto acima indicado por Cunha, implica “aprender a aprender”, de forma a obter desse conhecimento um retorno diferenciado em termos práticos (CUNHA, 2006).

Especificamente no ensino de engenharia, faz-se necessário a formação de engenheiros mais críticos e conscientes acerca da ciência, da tecnologia e da sociedade, considerando também as demandas do mercado de trabalho por um profissional mais humanista (Silveira e Bazzo, 2012). Esse panorama influencia na formação dos alunos, pois as exigências vão além de saber cálculo e fórmulas, caracterizando-se também pelo preparo em enfrentar novos cenários, amparado em uma visão de conhecimento sistematizada, que propicie ao aluno saber enfrentar novos problemas e saber tomar decisões diante dessa nova realidade. Essa exigência maior em termos de conhecimento requer que o conteúdo acadêmico-profissional apreendido seja percebido pelos alunos como parte de um conteúdo maior, favorecendo sua formação integral em termos profissionais e humanos. Recorrendo às palavras de Hilton Japiassu:

[] A filosofia das ciências não diz respeito apenas à ordem científica. As ciências definem, cada uma por sua vez, a consciência da humanidade. [] Não se trata apenas de uma patologia do saber, mas de uma patologia da existência individual e coletiva. A doença do saber também é doença do homem e doença do mundo. [] Assim colocado, o problema é o de uma conversão da atenção científica. E a nova epistemologia deve suscitar uma nova pedagogia (1976, p. 23-24 e 26)

Com isso, o saber na relação aluno-professor assume uma nova dinâmica, em que se exige uma mediação docente que valorize e contribua de forma positiva para a formação do discente, que se efetivo, traz o benefício da realização refletido na vivência do profissional professor. Nessa perspectiva, os conhecimentos pedagógicos tornam-se relevantes no sentido de favorecer uma aprendizagem diferenciada e significativa aos alunos diante das exigências delineadas em um novo contexto acadêmico mais amplo, dinâmico e complexo.

Essa crítica sobre a graduação em engenharia leva-nos a crer que a preocupação está além do ensino de conteúdo, tornando relevante também a forma como se ministra esses conhecimentos. Essa realidade em que está inserido a universidade cria uma demanda por

políticas institucionais que apoiem a formação de professores, que valorizem os saberes docentes e os processos de ensino-aprendizagem frente à complexidade educacional, tanto em termos sociais, políticos quanto acadêmico. Sobre essa demanda mais ampla, podemos dizer que “toda verdade científica pode ser colocada em questão (...) do ponto de vista de sua significação para a realidade humana” (JAPIASSU, 1976, p. 24). Ainda podemos acrescentar, ao mesmo tempo que retomamos a implicação de uma nova pedagogia, que:

A retomada de *conceito do todo* na conjunção disciplinar clássica da grade como *soma das partes* e, na matriz integrativa, como *articulação das antigas disciplinas* em componentes curriculares, áreas ou módulos, em torno de eixos, exige um mergulho nos princípios da teoria da complexidade, a ser retomada e aprofundada, nos papéis pessoal e profissional (ANASTASIOU¹ apud CUNHA, 2007, p. 56, grifo da autora).

Logo, a pedagogia pode contribuir para o ensino da engenharia ao fornecer conhecimentos ao professor que valoriza o progresso e a vivência junto ao aluno, e por conseguinte, propiciando um sentimento de realização do docente, quando este percebe a materialização de seu trabalho através dos frutos positivos gerados pelos seus alunos. Nessa perspectiva de um saber mais amplo aqui tratado, propicia-se ao aluno perceber que os conceitos apreendidos fazem parte de um complexidade mais abrangente.

E ainda no contexto do ensino de engenharia, vale enfatizar como referência, as diretrizes do Conselho Nacional de Educação:

Art. 5º Cada curso de Engenharia deve possuir um projeto pedagógico que demonstre claramente como o conjunto das atividades previstas garantirá o perfil desejado de seu egresso e o desenvolvimento das competências e habilidades esperadas. Ênfase deve ser dada à necessidade de se reduzir o tempo em sala de aula, favorecendo o trabalho individual e em grupo dos estudantes.

§ 1º Deverão existir os trabalhos de síntese e integração dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso, sendo que, pelo menos, um deles deverá se constituir em atividade obrigatória como requisito para a graduação.

§ 2º Deverão também ser estimuladas atividades complementares, tais como trabalhos de iniciação científica, projetos multidisciplinares, visitas teóricas, trabalhos em equipe, desenvolvimento de protótipos, monitorias, participação em empresas juniores e outras atividades empreendedoras. (2002, p. 1-2)

1 ANASTASIOU, Léa das Graças Camargo. Propostas Curriculares em Questão: Saberes Docentes e Trajetórias de Formação.

O projeto pedagógico do curso propicia aos docentes um horizonte a longo prazo para as atividades e conteúdos desenvolvidos durante a graduação, servindo como base para a elaboração dos trabalhos interdisciplinares. Isto é importante, pois trata-se de um veículo pedagógico que propicia a elaboração de trabalhos contextualizados, com escopo horizontal e vertical de disciplinas (ARANTES et al, 2009). Desta forma, busca-se superar o isolamento tradicional das matérias ao mesmo tempo que cria-se um foco na integração do processo de ensino-aprendizado.

Assim, o projeto pedagógico propiciam a criação de projetos que relacionam várias disciplinas do curso na busca de soluções integradas, o que para ser realizado necessita do envolvimento do aluno. Ao fazer uso de diversas abordagens e interpretações para entender determinado objeto, o discente combina, integra e sintetiza conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Os projetos e trabalhos de pesquisa potencializam o ensino na sala-de-aula, contribuindo para uma formação adequada aos alunos em termos de conhecimentos científicos, tecnológicos e sociais.

Sobre o desenvolvimento do saber no tocante à prática, os alunos podem beneficiar-se de atividades previstas no projeto pedagógico que favoreçam a participação e integração de diferentes modalidades de cursos. Sobre isso, projetos de extensão à comunidade e empresas juniores são formas de exercitar a responsabilidade social e de criar bem-estar aos cidadãos que vivem próximas à instituição de ensino. Como resultado, é trazido o desafio da vivência social às situações de natureza técnica.

Desta forma, uma educação acadêmica que valoriza o pensar abrangente sobre o reproduzir limitante sintoniza a formação profissional e cidadã do engenheiro na perspectiva mais ampla de uma sociedade em transformação mais exigente. O educar tecnológico tem vínculo direto com o processo de educação e a formação do ser humano em si, principalmente no tocante aos alunos de engenharia. O entendimento sobre como se dá a construção do conhecimento, e os valores que subsidiam essa construção, assim como a ideologia envolvida nessa construção passa a ter relevância para o docente de engenharia.

2.2 A formação do engenheiro baseada em projetos interdisciplinares

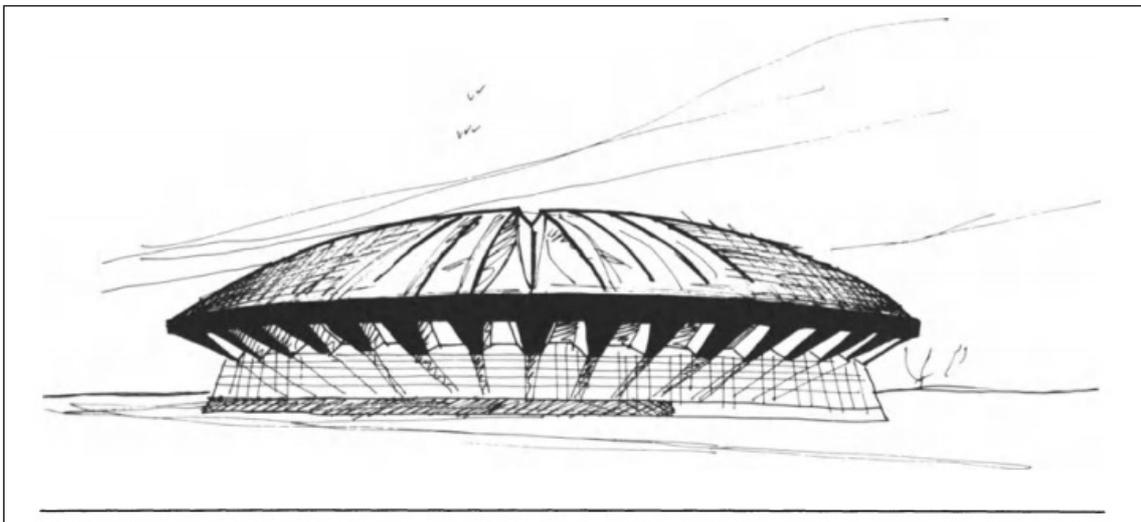
Conforme último parágrafo da seção anterior, o educar tecnológico autônomo implica um pensar crítico frente à oferta de cursos com grade curricular que possa apresentar-se

muitas vezes segmentada pela própria instituição de ensino, mas que poderiam, como se observa

Num sistema de aprendizagem baseado em projetos interdisciplinares, os alunos integram e aplicam os conhecimentos de diversas áreas disciplinares num projeto comum, onde desempenham um papel central na sua própria aprendizagem. [...] Este modelo é de extrema importância para os futuros engenheiros, que desta forma, desde os primeiros passos da sua formação, relacionam várias áreas disciplinares para construir soluções integradas (CARVALHO & LIMA, 2006, p.12).

Para fins do objetivo tratado neste trabalho de monografia, vale levantar neste ponto a que tipo de projetos interdisciplinares na prática estamos aqui tratando? Como exemplo de materialização no ensino de engenharia civil, tendo em vista as considerações a seguir, em que se entrelaça a história da arquitetura e a associação teoria-prática no desenvolvimento conceitual na área de projetos, podemos citar as estruturas do tipo cascas construídas em forma de cúpula²:

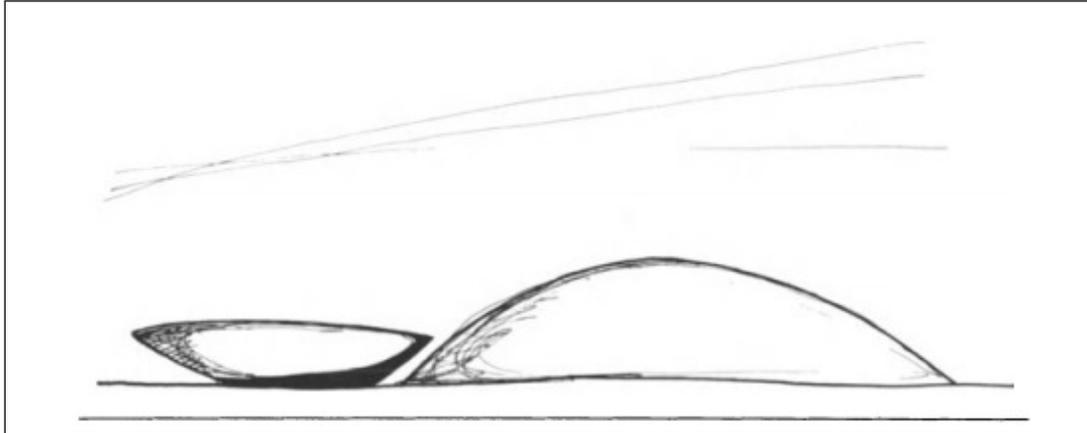
Figura 1 – Projeto com estrutura de casca pós-tensionada (University of Illinois)



Fonte: Melaragno, Michele (1991, p. 220)

2 Conforme nos indica Melaragno (1991, p.223), para o desenvolvimento de estruturas de cúpula com casca fina, a análise [de elementos] finita é o método usualmente empregado.

Figura 2 – Projeto com estrutura de casca de concreto (por Oscar Niemeyer, Brasília)



Fonte: Melaragno, Michele (1991, p.167)

A realização de projetos interdisciplinares possibilita incentivar os alunos ao longo da graduação, uma vez que viabiliza integrar a teoria e a prática, não se limitando a uma organização didática e curricular que fragmenta o saber. Após a realização de um projeto, enquanto proposta interdisciplinar de ensino, espera-se suprir um eventual descompasso entre teoria e prática que possa surgir entre as disciplinas ministradas, além de incrementar a capacidade de planejar, executar e apresentar um trabalho acadêmico.

[...] temos o direito de ser otimistas, pois as necessidades da ação e da pesquisa levam-nos sempre mais a estar atentos ao vizinho, à ultrapassagem das fronteiras, à criação de novas disciplinas e constelações do saber, ordenadas em torno de temas, de objetivos e de projetos (JAPIASSU, 1976, p.35)

Logo, um projeto entre disciplinas oferece a oportunidade de aplicação da teoria dada em sala de aula, permite superar a concepção de uma realidade fragmentada, que está embasada em um conhecimento fragmentado. Nesse contexto, oferece também a oportunidade do aluno defrontar-se com seus limites, pois nem todos amadureceram os conceitos teóricos trabalhados em sala de aula, e esse atraso de conhecimento reduz o aprendizado da matéria em seu devido tempo. Historicamente, podemos dizer que a oferta do conhecimento fragmentado é uma imposição do ambiente dominante (a instituição) que detém o ensino, e assim o projeto na graduação é uma oportunidade do aluno emancipar-se, ou seja, superar os limites do conhecimento fragmentado que lhe é imposto. Conforme defendeu Paulo Freire (2002), somente a conscientização de sua situação de oprimido pode contribuir para a

libertação do homem, e nesse sentido, um projeto associa a aprendizagem plena do aluno a sua percepção e superação em ultrapassar seus próprios limites acadêmicos.

Outro ponto a ser considerado é o desbalanceamento entre teoria e prática distribuído entre as disciplinas da grade curricular, que também pode dificultar o entendimento do que é mais relevante em termos acadêmicos, além de distorcer aquilo que se espera do aluno no futuro em termos profissionais. A prática em termos de projetos mostra aos discentes como se desenvolve o entrelaçamento entre a teoria e a prática da grade curricular do curso, além de possibilitar o entendimento da interdisciplinaridade, pois o saber para ser crítico exige uma construção (“*démarche*”) conjugada e articulada (JAPIASSU, 1976). Neste aspecto, podemos perceber que:

Trabalhar com a interdisciplinaridade [...] possibilitará que o [...] projeto integrador se apresenta como uma estratégia de ensino capaz de articular os saberes a fim de que o aluno tenha uma visão ampla da sua área e não em estanques, favorecendo assim a integração horizontal e vertical da estrutura curricular. (DE FRANCISCO et al, 2011, p. 6)

As disciplinas integradoras buscam tornar o processo de construção do conhecimento mais dinâmico e interessante para os estudantes, evidenciando por meio de situações-problema a importância para os futuros engenheiros do incremento de competências, habilidades, valores e atitudes relacionadas às atividades de comunicação, planejamento, criatividade, modelagem, simulação, ensaio e trabalho em equipe.

[...] A metodologia de ensino empregada evidencia aos estudantes a importância das atividades de modelagem e simulação no processo de desenvolvimento de um projeto de engenharia, antes de se construir um protótipo para testes. (OGASHAWARA, DE FRANCISCO & KATO, 2012, p. 1 e 6)

Outra vantagem atrelada à interdisciplinaridade de um projeto é a aplicação da teoria já adquirida pelo aluno, explicitando para o professor a evolução da formação cultural do discente, ao mesmo tempo em que este último percebe a evolução da ciência, apoderando-se assim, de forma interativa com a prática do projeto, do processo histórico de sua área de conhecimento conforme a aquisição gradual de conhecimentos nas etapas seguintes do curso. Com isso, pode-se incentivar no aluno a criação de projetos de pesquisa de sua própria autoria, tendo como pressuposto inicial a interdisciplinaridade entre as disciplinas já cursadas. Portanto,

Consideraremos o interdisciplinar no contexto das chamadas “*pequisas orientadas*”, *concertação* ou convergência de várias disciplinas com vistas à resolução de um problema cujo enfoque teórico está de algum modo ligado ao da ação ou da decisão.

Ele será analisado tanto em seu aspecto teórico, cujo progresso dá sempre lugar a aplicações, quanto em seu aspecto prático, cujo desenvolvimento permite novas elaborações teóricas. (JAPIASSU, 1976, p.32, grifos do autor)

Atrelado a essa questão, e de forma complementar à opção do aluno pelo trabalho em grupo ou individual de um determinado tema, pode-se impôr à prática do projeto, que já pressupõe uma criticidade sobre seu desenvolvimento e implementação, uma etapa complementar de apresentação oral do trabalho com a confecção de um relatório de projeto, ambas como exigências no incremento na melhoria da expressão e organização de idéias. Agrega-se valor ao trabalho futuro de graduação do aluno ao permitir verificar agora o entendimento discente sobre a totalidade de seu trabalho, sua compreensão sobre a disciplina, além da interdisciplinaridade da grade curricular de seu curso, ao mesmo tempo que integra-se vários esquemas conceituais de análise, já visando atender a demanda da sociedade por novos saberes (JAPIASSU, 1976).

Trabalhar com a interdisciplinaridade facilitará ainda a aquisição das competências e habilidades necessárias para o futuro profissional de engenharia. Ou seja, possibilitará que o aluno adquira subsídios para mobilizar os conhecimentos para a criação de projetos e solução de problemas e, desta forma, transformar a realidade vigente (FRANCISCO & FRANCISCO, 2011, p.6)

O feedback do professor ao discente neste contexto deve ter a intenção de motivação quanto a um trabalho bem realizado, sempre encorajando-os a superar as dificuldades encontradas no percurso do projeto. Com isso, a interdisciplinaridade é evidenciada na interação e integração dos conceitos na prática, através das etapas como teoria, planejamento, simulação, produção, montagem ou análise, permitindo ampliar a visão do aluno sobre a relação entre as disciplinas. Desta forma, as dificuldades ou tensão encontradas pelo aluno são oportunidades de confronto dialético das disciplinas, opondo-se ao pensamento linear e positivista (JAPIASSU, 1976). Neste sentido, torna-se importante a

[...] Definição de Projetos de Pesquisa, pressupondo a descrição do tema de investigação com abordagem interdisciplinar e a constituição integrada do grupo executor, composto por docente(s), estudantes de pós-graduação e de graduação, e pessoal de apoio técnico, quando necessário;

[...] Atentos aos princípios que norteiam a interdisciplinaridade, reconhecer que diferentes concepções podem ser adotadas nas pesquisas e no ensino interdisciplinar, pois é possível construir significados distintos, valorizando e reconhecendo a diversidade que a área comporta (CAPES – III.2 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO TRIENAL 2010 [2007-2009], p.30)

E para

[...] Atender aos desafios epistemológicos que a inovação teórica e metodológica coloca nas pesquisas e no ensino interdisciplinares, o que pede diálogos cada vez mais estreitos entre disciplinas de diferentes áreas do conhecimento e das áreas entre si, assim como destas com as filosofias das ciências, em suas diferentes vertentes, promovendo crescentes trocas intersubjetivas. (CAPES – I.3 - DESAFIOS PARA OS PROGRAMAS DA ÁREA INTERDISCIPLINAR, p.03)

E considerando ainda a

[...] Interdisciplinaridade. É uma estratégia de abordagem e tratamento do conhecimento em que duas ou mais disciplinas/unidades curriculares ofertadas simultaneamente estabelecem relações de análise e interpretação de conteúdos, com o fim de propiciar condições de apropriação, pelo discente, de um conhecimento mais abrangente e contextualizado. (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA – INEP, 2015, p. 46)

Ao lidar com um projeto de engenharia, e com todas as etapas, dificuldades e desafios nele contidos, uma apresentação à comunidade acadêmica da instituição abre-se ao estudante a oportunidade de valorização de sua formação e empreendimento estudantil. Isto porque a implementação de projetos de engenharia alcançam muitas áreas do conhecimento, criando uma demanda para que os alunos saibam conversar entre elas, de forma a buscar o preenchimento daqueles espaços vagos entre teoria e prática, principalmente das matérias ministradas com pouca aplicação em campo, em oficina, em laboratório ou de qualquer outra carga horária acadêmica de natureza prática. Desta forma, um projeto interdisciplinar não permite que um saber fragmentado, e conseqüentemente uma realidade fragmentada, sejam projetadas como uma totalidade para o aprendiz.

O enfoque pedagógico do professor universitário voltado ao ensino com projetos interdisciplinares nas etapas de um curso em engenharia colabora para uma formação dos conhecimentos mais integradora. Portanto, podemos perceber que uma formação acadêmica fragmentada não viabiliza uma análise da realidade em sua completude, deixando lacunas que desperdiçam oportunidades dos alunos superarem seus próprios limites acadêmicos, de obter uma construção teórica unificada a partir de uma solução vivenciada na prática (JAPIASSU, 1976).

2.3 A simulação computacional como forma de materialização do conhecimento.

Um dos maiores desafios dos professores de engenharia e pesquisadores da área consiste em saber a eficácia quanto aos quesitos básicos de qualidade para o ensino e aprendizagem dos objetos informatizados utilizados para fins educacionais, pois no contexto da graduação tecnológica, o horizonte dos projetos que discutimos na seção anterior convergem para estes tais objetos informatizados, mas que, como nos lembra G. Berger³:

a expressão “objetivos” é inadequada, pois se exprime em termos de comportamentos finais. Deveríamos antes, falar de *objeto* da interdisciplinaridade. Esta procede, em primeiro lugar, de uma crítica “universitária” do saber. [...] do outro, como uma modalidade inovadora de adequar as atividades de ensino e de pesquisa às necessidades sócio-profissionais, bem como de superar o fosso que ainda separa a universidade da sociedade. (apud JAPIASSU, 1976, p.56-57, grifos do autor e grifos nossos)

Os objetos interdisciplinares desenvolvidos em ambientes digitais podem auxiliar o ensino e a aprendizagem tecnológica, tendo portanto finalidade pedagógica. Assim, os estudantes ao interagirem com esse recurso podem adquirir conhecimentos atuando de forma participativa consigo mesmo, em seu processo de ensino e aprendizagem.

Embora existam manuais e normas elaborados com valores de coeficientes disponíveis para este tipo de análise, o fato de se dispor na atualidade de ferramentas de simulação numérico-computacional empregando métodos numéricos, como, por exemplo, o Método dos Elementos Finitos, possibilita visualizar de maneira clara e precisa a alteração na distribuição dos campos de tensões [...] Para o estudante de engenharia, poder visualizar as distribuições de tensões originadas em uma peça onde apareça o efeito da concentração de tensões, empregando modelagens numérico-computacionais, é muito interessante, não somente pela demonstração do conceito, mas também pelo emprego da ferramenta de cálculo, amplamente utilizada na área de engenharia (BARRIOS et al, 2005, p.2)

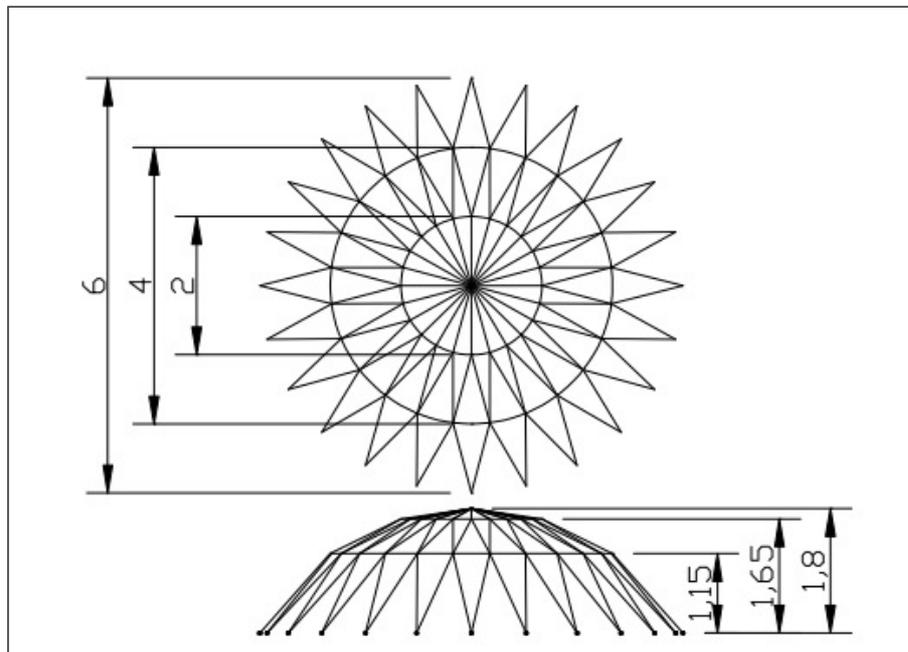
No caso específico desta monografia, os objetos interdisciplinares digitais destinados ao suporte do processo de ensino e aprendizagem para a resolução de problemas de engenharia ou áreas afins utilizam técnicas matemáticas denominadas de métodos numéricos, e por isso denominamos tais “objetos digitais” de objetos numéricos, ou objetos numéricos

3 Referência aos [...] estudos patrocinados pela OCDE (Organization et Coopération du Développement Economic) e centrados em torno de um questionário instituído “Estudos sobre as atividades interdisciplinares de ensino e de pesquisa nas universidades”. (ver JAPIASSU, 1976, p.55-56)

interdisciplinares, ou simplesmente, objetos interdisciplinares. A partir desta consideração sobre o emprego de terminologia, temos como principal intenção discutir o papel do processo de construção de objetos numéricos naquela simulação digital que requer a convergência de conhecimentos de áreas diversas na engenharia com finalidade de decisão ou ação através de projetos.

Retomando mais uma vez os objetivos tratados neste trabalho, vale perguntar a que tipo de objeto numérico interdisciplinar estamos aqui tratando? E retomamos como exemplos, para as considerações que seguem, as aplicações com estruturas do tipo cascas construídas em forma de cúpula:

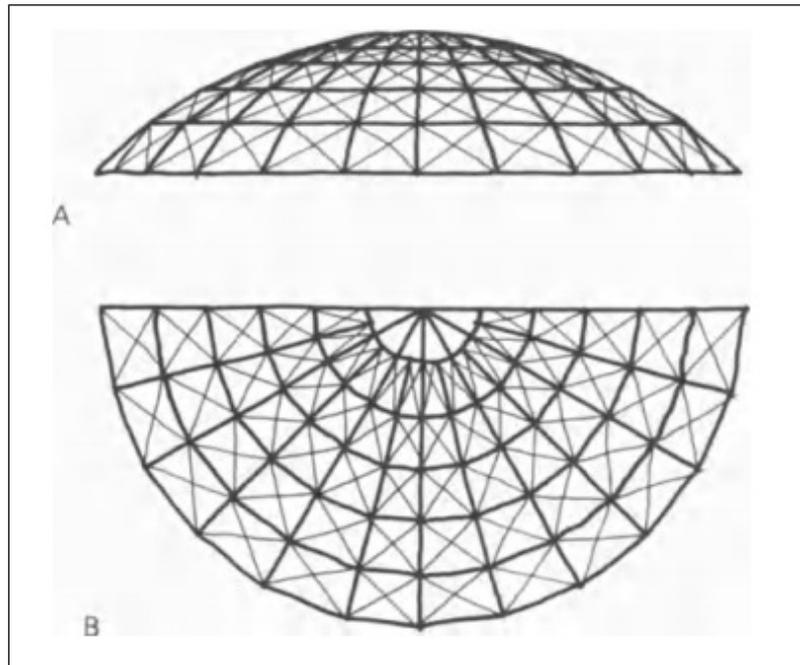
Figura 3 – Casaca treliçada – planta e elevação⁴



Fonte: Bandeira e Chivante (2006, p. 9.78)

4 Exemplo de interdisciplinaridade do uso do MEF retirado do curso de engenharia civil da Universidade Presbiteriana Mackenzie, conforme artigo publicado na COBENGE 2006 pelo Prof. Alex Alves Bandeira, doutor em engenharia civil pela Escola Politécnica da USP e atualmente professor e pesquisador do Departamento de Construção e Estruturas da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, além de membro do Comitê Editorial do periódico Journal of Civil Engineering and Architecture. Informações coletadas do curriculum vitae do próprio autor em 19/04/2017.
link de acesso: <http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4767994E5>

Figura 4 – Cúpula de estrutura de aço – planta e elevação



Fonte: Melaragno, Michele (1991, p. 310)

Para a educação tecnológica em questão, esta reflexão considera para os “objetos interdisciplinares” a proposta de software de simulação no contexto de ensino e aprendizagem de métodos numéricos aplicados à engenharia.

Numerical methods are techniques by which mathematical problems are formulated so that they can be solved with arithmetic operations.

[...]Although analytical solutions are still extremely valuable both for problem solving and for providing insight, numerical methods represent alternatives that greatly enlarge your capabilities to confront and solve problems. As a result, more time is available for the use of your creative skills. Thus, more emphasis can be placed on problem formulation and solution interpretation and the incorporation of total system, or “holistic,” awareness [...]

We believe that motivated students who enjoy numerical methods, computers, and mathematics will, in the end, make better engineers (CHAPRA, 2010, p. 3-4; e preface, XV)

Uma ferramenta computacional pode incrementar o aprendizado do aluno, considerando que questões de ordem pedagógica devem ser levadas em conta com o objetivo de dar eficácia ao software em termos de ensino, como por exemplo, aquelas que envolvem o

objetivo, público-alvo, procedimentos, avaliação e configuração do programa computacional, entre outras questões pertinentes que fogem do objetivo de nossa análise.

When you successfully implement numerical methods on a computer and then apply them to solve otherwise intractable problems, you will be provided with a dramatic demonstration of how computers can serve your professional development. (CHAPRA, 2010, p.5)

No campo do desenvolvimento, aprendizagem e usabilidade de programas computacionais, trabalhos de pesquisa possivelmente integrados poderiam servir de ponto de partida para uma análise mais profunda que nos permitiria avaliar um objeto computacional numérico. Uma união entre essas áreas possivelmente poderia contribuir para a construção de um conceito de modelo de objeto numérico interdisciplinar educacional. Portanto, poder-se-ia confirmar esse modelo com um viés pedagógico, ou seja, avaliar uma ferramenta computacional de um ou mais projetos de aprendizagem aplicados para o estudo de métodos numéricos, analisando posteriormente o valor agregado em termos de aprendizagem através desse tipo de suporte tecnológico junto aos alunos.

Entre tantos softwares de simulação disponíveis para tantas outras aplicações diversas, aqueles para a área de métodos numéricos, em especial, direcionados para os objetos interdisciplinares desenvolvidos em projetos educativos devem atender exigências de confiabilidade de cálculos, assim como de precisão, o que nos permite considerar tais objetos numéricos de aprendizagem para as funcionalidades características referentes à solução de problemas de engenharias.

A simulação computacional de projetos educativos em engenharia pode ser parte de uma proposta padronizada que visa um modelo de criação e desenvolvimento de conhecimento (na forma aqui chamada de objetos digitais interdisciplinares) em sistemas educativos através de conceitos matemáticos, os chamados métodos numéricos: “Numerical methods provide a vehicle for you to reinforce your understanding of mathematics” (CHAPRA, 2010, p.5)

Neste ponto, uma questão pertinente de caráter qualitativo e amplo refere-se a, por exemplo, como os alunos constroem de forma eficaz e eficiente seu objeto interdisciplinar? E como podemos nos certificar da validade de seus estudos e cálculos? Acreditamos que estas dúvidas vão se resolvendo no decorrer das pesquisas sobre aprendizagem dos métodos de programas de simulação. Definido as características e critérios dos projetos, bem como as

etapas de construção a serem desenvolvidos pelos alunos, pode-se partir para um trabalho de campo, ou então a construção de um protótipo, constituindo assim uma investigação prática ou experimental sobre o objeto numérico de aprendizagem digital, de forma a comprovar sua qualidade como meio de aprendizagem no ensino de engenharia. De qualquer forma, “A structures teaching program, with interactive graphics facilities, is used to develop skill at qualitative understanding of structural behavior” (SMITH, 1984, p.1).

Assim, a simulação pelo computador pode adquirir, ou mesmo adquirir, status como meio para a construção e compreensão de conceitos científicos voltados especificamente para a engenharia. A aplicação de softwares na área educacional pode ganhar terreno no âmbito acadêmico, trazendo objetos interdisciplinares para a aprendizagem e o ensino de conteúdos específicos, como a simulação de métodos numéricos em projetos de engenharia. Contribui-se assim para o aprendizado dos engenheiros em formação, valorizando a criação e aplicabilidade desse conhecimento em diversos contextos da engenharia, contribuindo para um saber mais inteiro, menos fragmentado.

A simulação e seu efeito gráfico a respeito do projeto do aluno, de natureza interdisciplinar, permite através de seus resultados, impulsionar uma reflexão no aluno sobre seu trabalho, confirmando ser este recurso um meio de aprendizado. A simulação e sua interação gráfica permite a prática de tarefas, ajudando a relacionar exercícios práticos, de aplicação real, com conceitos teóricos, podendo assim associar tarefas computacionais com exercícios específicos abordados durante as várias disciplinas da graduação.

Em suma, a interdisciplinaridade não é apenas um conceito *teórico*. Cada vez mais parece impor-se como uma prática. Em primeiro lugar, aparece como uma *prática individual* [...] Enquanto prática individual, a interdisciplinaridade não pode ser aprendida, apenas *exercida*. Em segundo lugar, a interdisciplinaridade aparece como *prática coletiva*. (JAPIASSU, 1976, p. 82, grifos do autor e grifos nossos)

O projeto e seus correspondentes objetos de aprendizagem computacionais podem portanto definir pelo seu conteúdo a maneira como os alunos aprendem. A simulação no contexto de projeto até agora considerado serve como um aliado ao professor no que se refere à construção de uma aprendizagem em que o conhecimento interdisciplinar é construído sobre um método numérico. Por sua vez a tecnologia também demarca as características desses objetos de aprendizagem, o que de certa maneira é o esperado de um software destinado ao ensino de conceitos matemáticos voltado para soluções em engenharia.

Conforme já dito anteriormente, existe a possibilidade do aluno dar um passo adiante, qual seja a de validação de seu projeto, após concluir todos os passos de elaboração do seu objeto no computador. Possibilita-se ao professor avaliar a efetividade de seu aprendizado, sua motivação em construir um trabalho a partir dos conhecimentos apreendidos nas disciplinas do curso de engenharia, além de averiguar o valor e dos benefícios de se utilizar uma simulação no computador que materializa uma concepção ou idéia do próprio aluno na forma de um projeto. Desta forma, a interdisciplinaridade do projeto do aluno como um todo é avaliada pelo docente através da simulação computacional, da usabilidade do programa computacional, da descrição sistemática e correta do programa, do relatório escrito e a exposição oral dos alunos sobre seus projetos. A avaliação da aprendizagem interdisciplinar é construída ao longo do percurso da graduação de engenharia.

Um dos grandes méritos da pesquisa interdisciplinar[...] reside no fato de superar o *dualismo* [...] de pesquisa teórica e pesquisa aplicada. Para além da pesquisa pura, teórica ou fundamental, e da pesquisa aplicada, o interdisciplinar instaura uma pesquisa ao mesmo tempo teórica e prática, que chamaremos de *orientada*. [...] O que nos importa reconhecer [...] é que, nos empreendimentos interdisciplinares, não nos é mais possível dissociar absolutamente *conhecimento e prática*. Há uma interdependência profunda entre o nível teórico e o das aplicações que dele decorrem. [...] Constituem duas tarefas complementares, tanto de uma ciência particular quanto da integração entre disciplinas (JAPIASSU, 1976, p.87, grifos do autor e grifos nossos).

Desse modo, devido a essa relação dialética de auto-implicação teoria-prática e vice-versa, torna-se importante verificar todas as etapas de projetos interdisciplinares baseados em simulação computacional, fundamentados em conceitos matemáticos, especificamente aqueles de natureza numéricas destinadas a problemas de engenharia. Trata-se de um movimento de complementaridade entre os processos, trazendo reflexão e problematização na construção do modelo a ser simulado, ao mesmo tempo que propicia a visualização dos conceitos físicos e matemáticos que se integram e a interação dos pressupostos físicos com a prática, como nos exemplos por nós adotado, dos objetos numéricos interdisciplinares das cúpulas construídas com estruturas de cascas.

A simulação computacional pode contribuir de forma pedagógica quando fornece aos alunos de engenharia um meio de vivência, “porém não exclusivo”, em que se possibilita a reorganização dos saberes envolvidos no desenvolvimento dos projetos da graduação em engenharia.

3. O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO NA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA.

Evidenciado tais aspectos da simulação computacional na seção anterior, buscamos aqui refletir sobre alguns aspectos do método dos elementos finitos (MEF) no contexto dos projetos educacionais que possuem em seu âmago a evolução do conhecimento do aluno a partir de objetos numéricos de aprendizagem. Conforme já delineados ao longo desse trabalho, no contexto acadêmico e profissional de um curso de engenharia, os métodos numéricos são técnicas matemáticas de solução aproximadas voltadas para a aplicação em engenharia onde a validade dos cálculos exigem responsabilidade. Entre as técnicas numéricas, particularmente o método dos elementos finitos, é aquele de relevância devida ao seu amplo uso em várias áreas do conhecimento da engenharia.

Embora disciplinas da área de exatas como a física e matemática estejam presentes na grade curricular da engenharia, as disciplinas específicas ou profissionalizantes, como por exemplo, de análise estrutural, são aquelas consideradas de difícil entendimento pelos aprendizes, devido à complexidade de seu conteúdo e sua aplicação restrita.

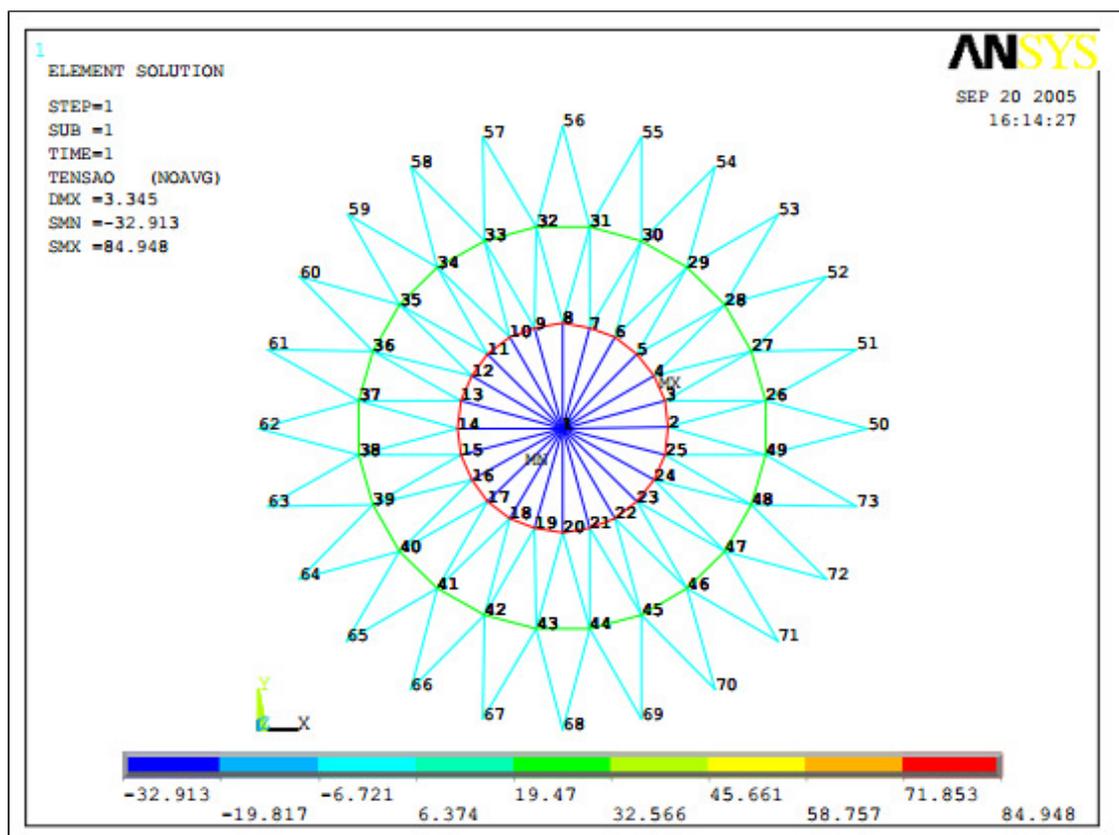
Numerical methods are extremely powerful problem-solving tools. They are capable of handling large systems of equations, nonlinearities, and complicated geometries that are not uncommon in engineering practice and that are often impossible to solve analytically. As such, they greatly enhance your problem-solving skills [...] Solutions were derived for some problems using analytical, or exact, methods. These solutions were often useful and provided excellent insight into the behavior of some systems. However, analytical solutions can be derived for only a limited class of problems. These include those that can be approximated with linear models and those that have simple geometry and low dimensionality. Consequently, analytical solutions are of limited practical value because most real problems are nonlinear and involve complex shapes and processes (CHAPRA, 2010, p.3).

Segundo Bandeira & Gonzalez (2008, p.1), possivelmente as principais dificuldades no processo de ensino aprendizagem da análise estrutural esteja na complexidade dos modelos usados para descrever os diversos efeitos causados pelas leis físicas nos diversos elementos estruturais (civil, mecânico, elétrico, eletrônico, materiais etc). Soma-se a isso o olhar adicional dado pelas formulações do método dos elementos finitos para as mesmas aplicações estruturais (resolução analítica) discutidas em outras disciplinas prévias do curso de engenharia. Podemos ainda considerar também outro nível de complexidade se os fenômenos

físicos apresentarem não-linearidade estrutural, o que pode exigir um estudo mais profundo por parte do estudante no cálculo variacional e cálculo tensorial.

O uso de programas com elementos finitos desempenha o papel neste contexto de permitir o uso da técnica de modelagem pela simulação e visualização de seu projeto sem a necessidade prévia de entendimento profundo de formulações de elementos finitos ou mesmo de programação de elementos finitos. Em outras palavras, podemos dizer que, com conhecimento prévio da teoria clássica das estruturas (civil, mecânico, elétrico, eletrônico, materiais etc), pode-se através de programas de elementos finitos realizar diferentes análises estruturais de um fenômeno, sem necessitar de prévio conhecimento da complexidade da formulação do MEF. O aluno pode assim entender a implicação necessária, mas dependendo da aplicação do projeto, não suficiente, de modelos estruturais distintos de um projeto na graduação, como no exemplo já por nós citados das cascas treliçadas:

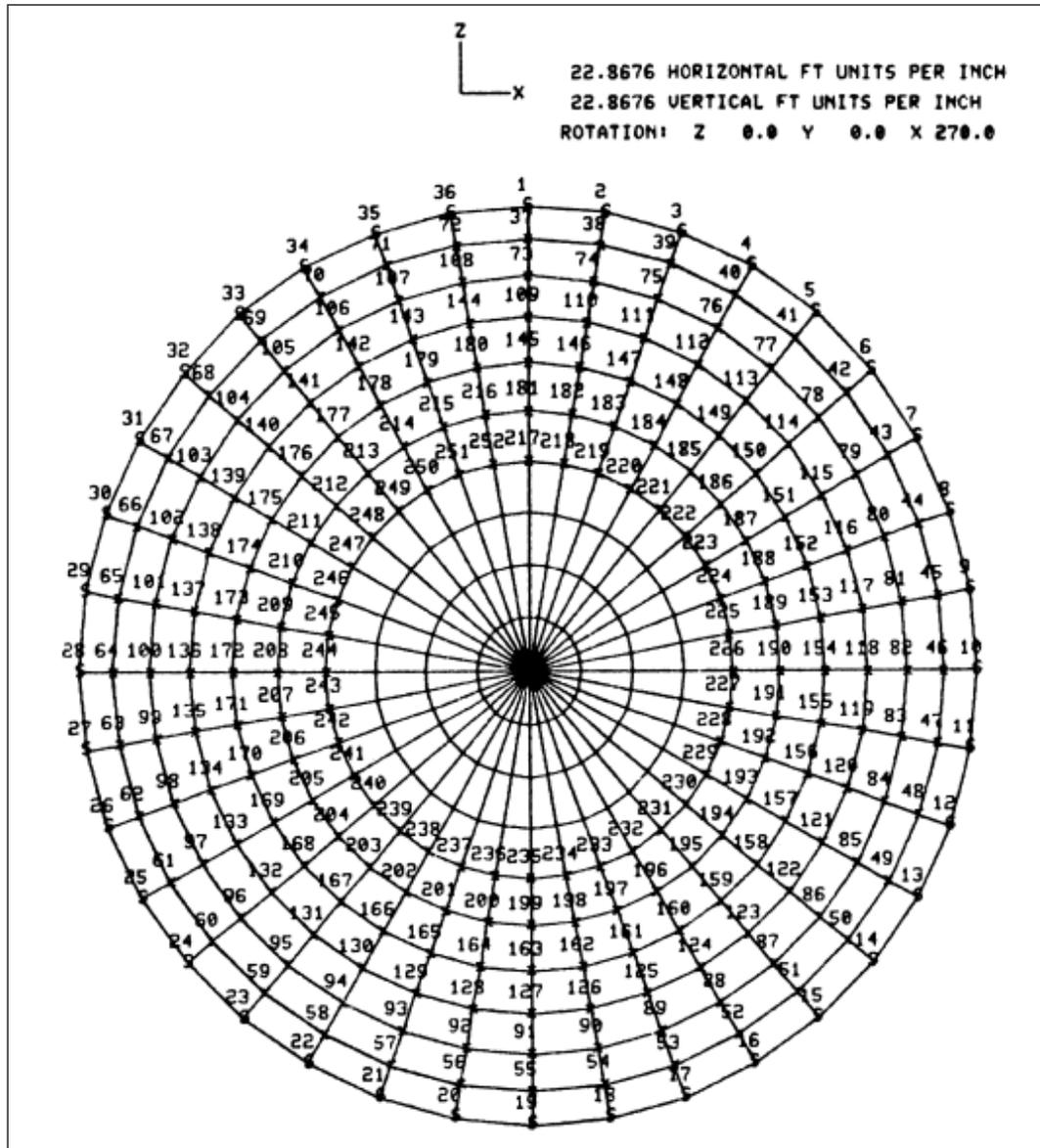
Figura 5 – Resultado das tensões nas barras, determinadas por programa FEM⁵



Fonte: Bandeira e Chivante (2006, p. 9.78)

5 Conforme indicado na p.25 desta monografia, trata-se de um exemplo de interdisciplinaridade do uso do MEF retirado do curso de engenharia civil da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Figura 6 – Uma cúpula com seus nós identificados de 1 - 252



Fonte: Melaragno, Michele (1991, p. 225)

Através do emprego de um programa comercial de elementos finitos, os alunos de engenharia tem acesso a modernos recursos de informática, ao mesmo tempo que acessam a solução de problemas de ordem prática. Do ponto de vista pedagógico, é importante a introdução primeiro de exemplos simples com sua solução teórica e conceitual já conhecida, separando da fase posterior referente à aplicação do programa, cuja aplicação é

imprescindível aos projetos de maior complexidade, que caracteriza-se por ter uma solução analítica difícil ou mesmo impossível de se realizar manualmente. As técnicas baseadas em soluções tradicionais devem ser enfatizadas, pois fornecem a base para o entendimento de problemas mais complexos.

O professor pode enfatizar aos alunos a verificação da solução dos modelos matemáticos trabalhados por eles com objetivo de validar os cálculos apresentados. Conforme Bandeira e Chivante:

[...] os conceitos de interdisciplinaridade existente entre a disciplina Método dos Elementos Finitos e as demais disciplinas ministradas no curso de engenharia civil, como por exemplo, cálculo diferencial e integral I, II e III, computação básica e programação I e II, álgebra linear, mecânica dos sólidos I e II, cálculo numérico, resistência dos materiais I e II, pesquisa operacional, softwares aplicados à engenharia civil e estabilidade das construções I, II e III.

[...] são incentivadas a modelagem estrutural e computacional de sistemas estruturais e a interpretação física dos resultados obtidos, possibilitando assim que o graduando desenvolva melhor a interpretação do comportamento estrutural em estudo. (2006, p.9.75).

Neste contexto, podemos perceber que o método analítico é limitado em termos de uma apreensão adequada de conteúdo. Problemas de projetos que exigem recursos computacionais tornam-se valiosos meios pedagógicos quando auxiliam na aprendizagem e contextualização do conteúdo, na visualização e na interpretação das soluções encontradas. A ênfase no enfoque numérico (e gráfico) ao invés do analítico-algébrico podem potencializar a motivação dos alunos em aprender.

Porém vale salientar que não é nosso objetivo destacar o aprendizado das técnicas analíticas e computacionais de forma separada. Porque desta forma as técnicas estariam sendo tratadas em uma sequência linear, sendo que o enfoque simultâneo propiciaria um pensamento mais crítico no manejo dos problemas de projeto, a busca de alternativas para obter a solução, a relacionar solução geral e solução particular, relacionando teoria e prática.

Deste modo, a técnica de elementos finitos, associada ao uso de sistemas computacionais comerciais consolida os conceitos apresentados nas disciplinas convencionais, desenvolve um olhar para a análise de outros elementos estruturais na engenharia. Isto é viável porque parte-se apenas com uma conceituação generalista do

elemento de modelagem, sem entrar no estudo aprofundado de formulações complexas ou cálculo avançados, como o variacional ou tensorial. Desta forma, é possível analisar a aplicação, delimitações e comportamento dos mais variados elementos de modelagem.

A interdisciplinaridade do método dos elementos finitos no ensino de engenharia de estruturas, segundo Bandeira e Chivante:

Os cursos de engenharia civil apresentam, em sua maioria, conceitos clássicos da resistência dos materiais e da estabilidade das construções. Das disciplinas de resistência dos materiais temos a apresentação dos conceitos fundamentais da análise estrutural. São desenvolvidos estudos referentes às reações de apoio, análise de momentos fletores e forças cortantes. São também apresentados conceitos de tensão, deslocamento, deformação, análise de estruturas submetidas a esforços de flexão, torção e de cisalhamento, além dos conceitos de flecha, rotação e flambagem.

Já as disciplinas relacionadas à estabilidade das construções têm por objetivo a solução estática de sistemas estruturais isostáticos e hiperestáticos, determinando sempre que possível seus diagramas de esforços normais, cortantes e fletores, além de suas flechas e rotações. Com referência aos sistemas isostáticos, os mais estudados são as vigas retas, curvas e poligonais, bem como os arcos e pórticos triarticulados. Já em relação aos sistemas hiperestáticos, são apresentadas técnicas de resolução destes sistemas, como a equação dos três momentos, a análise de linhas de influência de vigas contínuas, o Método dos Deslocamentos, o Método das Forças e o estudo da energia de deformação (conhecido como Método da Energia) (2006, p.9.76)

[...] Porém, o que muitos alunos não percebem de imediato é a interdisciplinaridade envolvida diretamente nestes estudos. Somente para citar alguns vínculos, podemos citar aqueles que se apresentam de modo mais evidente. Das disciplinas de cálculo diferencial, apresentam-se os conceitos de derivada, derivada direcional e integral, conceitos estes amplamente utilizadas na determinação diferencial da linha elástica da estrutura, por exemplo. Da disciplina de álgebra linear, temos os conceitos de vetores, matrizes (em especial as simétricas), operações algébricas, autovalores e autovetores, conceitos estes fundamentais na análise matricial de estruturas. Da disciplina de pesquisa operacional, herdamos os conceitos de otimização de sistemas, com sua determinação de pontos de máximos e mínimos, conseguindo assim determinar, com a utilização da conceituação da energia potencial total da estrutura, sua situação de mínimo - e conseqüente equilíbrio. Já da mecânica dos sólidos indeformáveis, temos os conceitos de reações de apoio e equilíbrio de forças.

Mas quando discutimos a matéria de elementos finitos, é indispensável que os alunos tenham em mente toda esta teia de informações necessárias para sua formação. Deste modo, o graduando apresenta-se a esta disciplina de uma forma bem preparada, tornando-se capaz de entender mais facilmente os processos envolvidos na resolução dos sistemas estruturais, bem como interpretar mais criticamente os resultados obtidos. Vale ressaltar a este ponto que o objetivo desta matéria não deve se encontrar em discutir a teorização de elementos finitos, tampouco a formulação dos elementos de ordem superior (como os bi e tri-dimensionais).

[...] É importante salientar que na teorização da disciplina de elementos finitos é ensinada a formulação de treliças e de barras no contexto da análise matricial de

estruturas. Os educandos aprendem como são feitas as construções da matriz de rigidez, do vetor de equilíbrio e do vetor incógnita da estrutura, tanto no sistema de coordenada local quanto global. Além disto, eles aplicam os conceitos adquiridos na disciplina de cálculo numérico para a solução de sistemas de equações lineares e não-lineares. (2006, p.9.76 e 9.77)

Do mesmo modo, para a interdisciplinaridade do método dos elementos finitos no estudo de campos eletromagnéticos, segundo Oliveira at al:

O ensino e a aprendizagem da teoria do eletromagnetismo requer o estudo e a abordagem sistemática de problemas envolvendo a análise de campos escalares e vetoriais, que, em muitos casos, são descritos por equações diferenciais parciais de segunda ordem, cuja solução analítica geralmente é difícil de ser obtida. Nestes casos, a distribuição espacial dos campos eletromagnéticos pode ser obtida de forma rápida e precisa, através de métodos computacionais para a resolução destas equações [...] A maioria dos problemas de eletromagnetismo, envolve o cálculo das distribuições de campos elétricos/magnéticos ou de potencial elétrico/magnético, em uma região do espaço. Em sua grande maioria, estes problemas são matematicamente descritos por pares de EDPs, onde as equações de “Poisson” e “Laplace” são aplicadas na resolução de problemas de eletrostática, enquanto outras duas EDPs são aplicadas na resolução de problemas de magnetostática [...] (2010, p.1-2).

Em alguns casos particulares, nos quais o problema apresenta uma geometria com simetria adequada (como um capacitor de placas paralelas), a EDP podem ter sua complexidade reduzida, permitindo sua resolução analítica através de integração e/ou diferenciação direta. Contudo, na maioria dos casos práticos, verifica-se que a geometria não apresenta uma simetria adequada (geralmente com variação de grandezas em duas ou três dimensões), fazendo com que a resolução destas EDPs torne-se um problema não-trivial e, em alguns destes casos, faz-se necessária inclusive a aplicação de métodos numéricos para a obtenção de uma solução precisa do problema estudado [...] O princípio de utilização do MEF, na resolução de problemas de campos, é a divisão de um único problema descrito por uma pequena quantidade de EDPs (geralmente difíceis de serem resolvidas analiticamente), em diversos problemas menores (ou “elementos finitos”), onde cada um destes elementos finitos é descrito por um sistema de equações algébricas, cuja resolução é bem mais simples do que a resolução das EDPs originais do problema (2010, p.2-3)

Através do programa de elementos finitos, o aluno da graduação caracteriza e analisa criticamente o comportamento estrutural de seu projeto, sem a necessidade de conhecer profundamente a formulação do elemento finito, através dos resultados oferecidos pelo programa no formato numérico ou gráfico (CHAPRA, 2010).

Como discutido anteriormente, o uso do programa de elementos finitos viabiliza ao aluno o uso de maior tempo para refletir, em vez de calcular, sobre as ações físicas sobre o sistema estrutural de seu projeto. De outra forma, gastar-se-ia tempo e raciocínio em cada

parte do projeto que possivelmente inviabilizaria uma tomada de ação ou decisão sobre seu trabalho, seu projeto. Diferentemente, o uso de um programa comercial de elementos finitos possibilita rapidez e precisão nos cálculos em um tempo bem inferior à análise tradicional.

Today, computers and numerical methods provide an alternative for such complicated calculations. Using computer power to obtain solutions directly, you can approach these calculations without recourse to simplifying assumptions or time-intensive techniques (CHAPRA, 2010, p.4)

Consegue-se visualizar o resultado físico ou a configuração final da estrutura física de seu projeto de uma forma global e gráfica, sem a necessidade de um trabalho analítico do aluno para obter tal resultado que requereria várias etapas de cálculo, pois sua definição e quantificação não é imediata, podendo exigir o manuseio de recursos matemáticos, como as equações diferenciais parciais. Desta forma, o método dos elementos finitos é um recurso relevante devido à flexibilidade de seu manuseio e menor probabilidade de erro no resultado final.

[...] duas maneiras de abordar o interdisciplinar: a primeira consiste em tratar os problemas de um ponto de vista comum a todas as ciências, a segunda, em tratá-las em sua situação concreta. [...] Sem dúvida, a cooperação [técnica] nas ciências naturais é bastante diferente e muito mais fácil do que a que podemos encontrar nas disciplinas humanas (JAPIASSU, 1976, p. 83)

Com a cooperação (suporte) desse programa, é possível modelar de forma precisa vários problemas de ordem práticas, não só no contexto da resistência dos materiais e do eletromagnetismo, mas praticamente em todas as modalidades da engenharia. Vale salientar que tais análises partem sempre de uma geometria, relacionando-a com um fenômeno físico, o que dá uma maior compreensão do problema considerado no projeto.

Outro benefício no uso do programa de elementos finitos na graduação é a possibilidade de desenvolver e aplicar teorias mais complexas, sem a necessidade, mais uma vez mencionada, de aprofundamento na formulação empregada no software. Exemplo disso, entre tantos outros, inclusive de outras especialidades, é a discussão de tópicos como placas e cascas, na engenharia civil ou mecânica. Segundo Bandeira & Gonzalez,

[...] sob o ponto de vista de diferentes elementos estruturais, um mesmo problema pode possuir diversas respostas, cada qual com uma precisão diferente, sem com isso necessitar discutir amplamente a formulação de cada um. Conclui-se então a necessidade do engenheiro de interpretar fisicamente os resultados, avaliando se o modelo realizado está ou não adequado com o fenômeno real.

Vale ressaltar a importância do uso do software de elementos finitos [...], uma vez que ele permite incentivar no aluno a interpretação física de diferentes modelos, sem com isso necessitar compreender sua formulação. Deste modo, fica mais um incentivo para, a critério do aluno, continuar seus estudos em um nível de pós-graduação. (2008, p. 11)

Portanto, pedagogicamente falando, a técnica do método dos elementos finitos cumpre seu papel na simulação de um projeto no curso de engenharia, ao viabilizar o aluno a entender melhor a teoria estrutural de uma determinada especialidade, aplicando-a na prática através do uso de recursos computacionais. Essa vivência prática da disciplina pode motivar os graduando, pois permitem que eles visualizem melhor o comportamento físico da estrutura, graças aos recursos de animação gráfica do programa computacional, que ao demonstrar os dados resultantes da análise do modelo, permite sua interpretação física, aprimorando assim a crítica sobre a concepção do projeto, os conhecimentos utilizados de várias disciplinas e a metodologia usada para concebê-lo, além dos resultados finais obtidos com projeto. Segundo Bandeira & Gonzalez,

Basicamente, o objetivo principal é esclarecer ao educando que ele está apto a resolver problemas de pequenas deformações. Quando os problemas estruturais englobam fenômenos mais completos no campo das grandes deformações, em especial na análise dinâmica não-linear e na análise de problemas de contato mecânico, o educando deve se aprofundar nos conceitos da análise não-linear de estruturas através do cálculo variacional e das formulações tensoriais de elementos finitos. (2008, p.2)

Os métodos estruturais abordados nas diversas especialidades da graduação são teóricos, uma vez que não permitem uma visualização clara, pelo menos de primeiro momento, do comportamento da estrutura, pois são analíticos e exigem o desenvolvimento de cálculos, o que enfraquece o foco dos alunos na parte conceitual e estrutural da disciplina. Ao contato com a disciplina de elementos finitos, passa a existir uma diferença, pois o graduando obtém uma prática de modelagem e de simulação, convergindo os conceitos adquiridos em várias disciplinas do curso e, portanto, trazendo a interdisciplinaridade aos projetos de engenharia.

Apesar da estrutura das disciplinas em “básicas”, “profissionalizantes”, “específicas” (CNE, Resolução CNE/CES 11/2002) e ainda com a possibilidade das “eletivas” dos cursos de engenharia, a prática de modelagem e simulação através do MEF possibilita o enfoque

interdisciplinar, integrando e flexibilizando os conceitos das várias matérias estudadas, podendo também abranger os fundamentos concernentes da área de humanas, de administração e ambiental, o que fortaleceria os alunos em termos de atitudes e habilidades, trazendo resultados mais amplos e de qualidade aos projetos.

4. CONTRIBUIÇÃO DA INTERDISCIPLINARIDADE NO ENSINO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O uso inconsequente do programa de elementos finitos pode trazer como consequências resultadas inválidas, logo conclusões incorretas, o que significa um projeto distante da realidade, pois conforme já citado anteriormente, pressupõe-se que quanto maior a importância de um projeto, seja financeiro ou funcional, maior é a exigência (confiabilidade e precisão) quanto ao uso do método dos elementos finitos. É por esse motivo, a importância do ensino de qualidade quanto às diferentes etapas de construção de um modelo numérico computacional. Neste ponto, torna-se importante perguntar “Em que consiste o desafio das colaborações interdisciplinares?” (JAPISASSU, 1976, p.97).

Conforme podemos perceber, as observações apontam para dificuldades de se ultrapassar o conceito fragmentário e positivista da educação tecnológica, de romper os limites da organização didática da grade curricular. Nesse sentido, acreditamos fortalecer a discussão do tema sobre interdisciplinaridade no ensino do MEF, baseado no ensino segundo concepções pedagógicas alicerçadas em concepções dialéticas, espelhadas em uma reflexão em que as disciplinas são ampliadas e realocadas em conteúdos temáticos de maior amplitude. Conforme nos diz Japiassu, “isso só se torna possível graças a um *confronto dialético* das disciplinas, no interior de uma pesquisa “concertada””(1976, p.54-55, grifos do autor e grifos nossos).

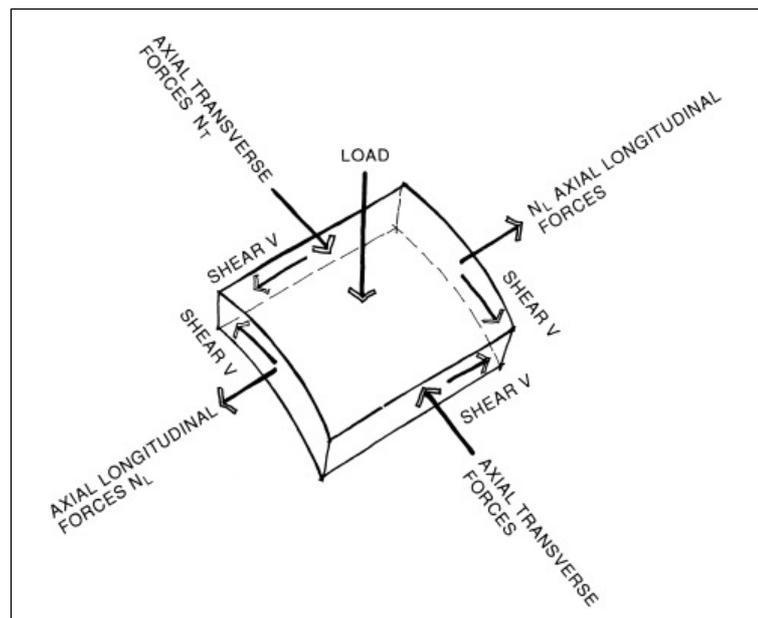
Com isso, em termos do aprendizado de diferentes projetos interdisciplinares na engenharia, a formação plena e dialética significa que a “*démarche conjugada e articulada*” requer do engenheiro a interpretação do fenômeno físico apresentado pelo software, com o objetivo de avaliar a adequação do modelo computacional em relação à situação-problema real. Mesmo porque pode-se ter diferentes modelos para serem aplicados a um mesmo problema estrutural, cada qual com sua precisão numérica, o que origina diferentes respostas para esse mesmo problema estrutural. Vale dizer também que em determinadas aplicações pode ser necessário uma discussão prévia da formulação implícita embutida no programa computacional para o projeto em questão.

[...] Quando faz coincidirem, por exemplo, *saber e analisar*, está colocando-nos diante de uma inteligência que desintegra e divide, mais do que em face de uma inteligência que integra e associa. A preocupação excessiva com a análise deixa de lado toda exigência de síntese. A preocupação analítica está muito mais voltada para o saber preciso, pouco ou quase nada interessada por saber aquilo que se sabe. (JAPIASSU, 1976, p.101, grifos do autor e grifos nossos)

Somando-se à ressalva anterior referente à necessidade de precisão de resposta do problema em estudo, podemos considerar que o conhecimento do engenheiro foi construído em disciplinas cujas soluções estudadas foram obtidas de modelos teóricos elaborados a partir de simplificações teóricas, o que torna seu trabalho, além de interdisciplinar, complexo.

Ainda nessa linha de raciocínio, podemos citar como pressuposto teórico, ainda considerando como exemplo de estrutura de cascas:

Figura 7: Forças axial e de cisalhamento em um elemento casca sob carregamento



Fonte: Melaragno, Michele (1991, p. 130)

[...] E se torna absolutamente impossível classificar os problemas em científicos e filosóficos. São os métodos, e não os problemas, que distinguem as duas categorias de pesquisa [...]. Essas disciplinas, em seu esforço de autenticidade, rompem com duas perspectivas – a de ligarem seu destino ao da filosofia ou a de se submeterem aos modelos metodológicos das ciências naturais – que as deixaram num impasse e que manifestaram sua inaptidão para desvelar seu objeto: o homem enquanto *existente*, em sua verdade singular e na especificidade de seu ser próprio. (JAPIASSU, 1976, p. 97 e 182, grifo do autor e grifo nosso).

Desta forma, em face do cenário complexo acima delineado, em que o problema baseia-se em métodos com simplificações teóricas, podemos considerar que a pedagogia aplicada em um curso de graduação requer o uso racional de técnicas computacionais – ou seja, de simulação – que podem resolver a problemática do “ser existente” para o engenheiro. Assim, essas técnicas computacionais baseadas no MEF podem contribuir para sua formação acadêmica e profissional com intuito de atender as exigências de um mercado de trabalho e de uma sociedade que demandam soluções de projetos de maior complexidade, o que exige do engenheiro um trabalho maior em termos de comunicação entre diversas disciplinas e a integração de conhecimentos carregados de pressuposições científicas e simplificações computacionais.

Como exemplo desse panorama, podemos referenciar a ótica de outras profissões, que não as da engenharia, como forma de ilustrar os desafios e desdobramentos da interdisciplinaridade e a aprendizagem do MEF delineados ao longo dessa monografia.

Por meio do MEF, inúmeros trabalhos com diferentes aplicações e objetivos podem ser conduzidos, sendo o mesmo plenamente aplicável para a realização de pesquisas científicas em Ortodontia. Este método, quando bem gerenciado, pode proporcionar diversas vantagens em relação a outros estudos, pela facilidade de obtenção e interpretação dos resultados. Entretanto, para a correta execução desta metodologia, é necessária a interação entre profissionais da Engenharia e da Odontologia para que se possa pôr em prática as idéias e obter resultados corretos e válidos. (Lotti et al, 2004, p.8)

Com isso, a integração interdisciplinar dos conteúdos apreendidos ocorre quando o aluno busca significados para os conceitos aplicados na elaboração do seu problema de projeto e na interpretação dos resultados obtidos através das respostas numéricas e de simulação gráfica. Nesse ponto, parte-se do princípio que um ensino dialético opõe-se aos padrões positivistas que distorcem em alguma medida a visão e o entendimento da totalidade, que nesta perspectiva apresenta-se parcial, já que este, “o positivismo – tanto o clássico, quanto o moderno – sempre se opôs aos empreendimentos interdisciplinares” (JAPIASSU, 1976, p.97). Quanto à dominação da percepção de mundo que nos impõem o positivismo, podemos citar Freire (2002), que coloca que a tomada de consciência é o único meio de contribuir para a libertação do homem frente ao sistema dominante. Desta forma, o processo educativo tem a função relevante de legitimar a transformação e consciência da realidade do homem através do aprimoramento intelectual do aprendiz, ao fazê-lo captar a realidade através da apreensão em sua totalidade.

Colocado nestes termos, a capacidade do aluno reconhecer-se e superar seus próprios limites, torna-se importante para um novo saber, em que através de seus projetos acadêmicos pode contribuir com uma ação positiva sobre o mundo, opondo-se assim, a uma educação de saber fragmentado que impossibilita perceber e superar seus próprios limites. É neste sentido, que podemos considerar a realização das práticas educativas através do diálogo e suas dimensões, ação e reflexão, em que o homem encontra seu sentido no mundo (FREIRE, 2002).

Com esse sentido, a interdisciplinaridade pode ser vista como uma solução à questão da epistemologia disciplinar, de cunho fragmentário e representa, portanto, a troca entre disciplinas da ciência com objetivo de construir um conhecimento que dê mais sentido à história do aluno engenheiro em sua graduação.

Considerando a tensão entre o positivismo e a interdisciplinaridade, torna-se importante ressaltar os avanços da tecnologia do homem, tendo relevante papel o conhecimento disciplinar ou positivista. Porém o problema encontra-se na complexidade de fatos que o homem não consegue em certa medida avançar, como as desigualdades sociais e demais dilemas do mundo atual. A interdisciplinaridade, através da integração de saberes, sugere romper com a visão distorcida e fragmentada de mundo.

A partir destas considerações, a articulação e contextualização do conhecimento, através da interdisciplinaridade, pode reformar o pensamento tecnológico. Nesta linha de pensamento, Japiassu (1976) sugere uma grande base de conhecimento, entendimento profundo do disciplinar e a síntese que possibilita a integração. Isto significa uma revisão do pensar no sentido de aumentar o diálogo através da epistemologia e metodologia entre diferentes especialidades de conhecimento, superando a fragmentação das ciências.

O problema do ensino fragmentado é a desarticulação que germina na educação do aluno, impedindo a plenitude de seu potencial, promovendo uma formação distante da demanda da realidade. Com isso, uma educação integradora viabiliza o trabalho do aluno engenheiro no sentido de interferir na realidade a partir de uma visão mais abrangente, construindo assim práticas sociais mais atuantes. É por isso que a compreensão da importância de seus projetos interfere nas possibilidades de atuação a partir de um entendimento ampliado do mundo e, assim, novos conhecimentos e atitudes constroem-se, gerando atuações sociais significativas.

É desta forma que a interdisciplinaridade favorece uma consciência crítica entre disciplinas, de transformação e de problematização entre áreas distintas de conhecimento, em diferentes contextos. Isto ocorre na reflexão e no cotidiano individual ou coletivo em diferentes oportunidades de projetos interdisciplinares. Porém, é na problematização desses projetos e nos conhecimentos acadêmicos apreendidos até então que o estudante revela a realidade de forma integrada (FREIRE, 2002).

Considerando a construção e reconstrução do conhecimento dos projetos um processo de enxergar o mundo, a interdisciplinaridade favorece um olhar abrangente da realidade dos fenômenos físicos de um lado, e pelo outro lado, o contexto social do próprio homem. Nesse sentido, compreender a realidade aparece como captar a totalidade, que não pode ser obtida por fragmentos, pois seu resultado poderia estar equivocado, infundado.

A interdisciplinaridade como representante da totalidade do conhecimento está alinhada à emancipação do homem, considerando aspectos socioculturais, econômicos e ambientais. É por isso que espera-se que a formação em engenharia torne-os mais sensíveis a sua realidade e, isso não pode ser alcançado sendo o aprendiz passivo ao conhecimento. A partir da (re)construção do saber de forma dialética, ativa, transformadora do mundo, a interdisciplinaridade em projeto na graduação do engenheiro passa a ser um meio relevante nesta empreitada, uma forma de ação transformadora do ponto de vista técnico e também social.

[...] Em primeiro lugar, no fato de vários especialistas formados em disciplinas procurarem e encontrarem uma *linguagem comum*, entenderem-se sobre as concepções iniciais e sobre uma forma de *démarche* conjugada e articulada, a fim de conseguirem aceitar o *desenraizamento* provocado por problemáticas diferentes da sua. (JAPIASSU, 1976, p.97, grifos do autor)

Sociedades de complexidade crescente, que demandam novos saberes e novas soluções, formada por indivíduos com base acadêmica fragmentada, incapacitam compreender a realidade em sua forma plena. É nelas que se fragmentam as crises da vida humana, não captando a urgência por novas idéias e projetos inteligentes e bem implantados. Em um contexto como esse, torna-se relevante uma educação baseada em uma postura dialética que vise a formação plena do aluno.

5. A INTERDISCIPLINARIDADE E O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS: POSSIBILIDADES NO ENSINO DE ENGENHARIA.

Considerando a tensão no contexto apresentado na seção anterior, verificadas frente aos desafios das técnicas computacionais associadas ao MEF, acreditamos que vale esclarecer e discutir nesta seção o lugar da interdisciplinaridade nos sistemas educativos das engenharias brasileiras com o objetivo de levantarmos sua contribuição em termos sociais, profissionais e acadêmicos.

É por isso que, frente as exigências atuais de formação demandadas pelo mundo globalizado neste início de século, conforme já mencionado, que apresentam problemas cada vez mais complexos, torna-se imprescindível refletir se a formação adquirida ao longo da graduação é suficiente para que o discente saiba lidar com o conhecimento frente à dinâmica e incerteza exigidas pela sociedade. Se a base do projeto político-pedagógico estiver calcado isoladamente em cada disciplina da grade curricular, possivelmente não permitirá uma harmonia do corpo de conhecimento, proporcionando lacunas tanto em termos teóricos quanto práticos em relação ao mundo real social e profissional do aluno.

A partir disso, entendemos que a especialização resultante do saber fragmentado pode levar-nos a fatos que não são devidamente explicados, ou que são parcialmente explicados, ou então pode tirar-nos a percepção daquilo de maior relevância. Por consequência, ao perder a visão do todo, o homem pode não ter a melhor referência para suas crenças e valores. E como resultado dessa visão distorcida, pode ficar preso em sua especialidade, assumindo uma postura defensiva em relação a outras áreas do conhecimento, o que fomentaria ainda mais sua visão especializada, linear e positivista de mundo, sendo também reforçada pelo desenvolvimento da tecnologia, que por sua vez cria mais especializações sem a devida referência, podendo aprofundar a patologia de seu saber.

Neste contexto, vale também dizer que existe uma questão histórica, pois não trata-se apenas da discussão de conceitos e idéias distintas das especializações, mas também dos interesses e crenças de grupos sociais em defender seus poderes, os limites de sua área de conhecimento. Ainda nessa linha, no caso do ensino superior, a demanda por novos saberes e melhor preparo acadêmico e profissional tem exigido que os alunos tomem a iniciativa de integrar seus conhecimentos, fugindo da lógica positivista, exigindo uma abordagem mais

completa nessa interação com o conhecimento científico, perfazendo uma interdisciplinaridade em termos de atitude, de uma vivência mais completa.

Assim, conforme trabalhado anteriormente na discussão dessa monografia, o exercício dialético baseado na reflexão e no respeito em relação ao campo de conhecimento próprio de cada disciplina tornam-se fundamentais na busca da totalidade do conhecimento. Por isso, especificamente no campo do ensino da engenharia, faz-se necessário um currículo que privilegie a iniciativa docente e flexibilidade quanto às novas propostas e interpretações epistemológicas e metodológicas, contribuindo assim para uma integração interdisciplinar. Baseia-se, assim, em um aspecto importante para a realização de todo esse processo, qual seja, a escolha da temática na engenharia. Repetindo citação anterior de Japiassu:

[...] temos o direito de ser otimistas, pois as necessidades da ação e da pesquisa levam-nos sempre mais a estar atentos ao vizinho, à ultrapassagem das fronteiras, à criação de novas disciplinas e constelações do saber, ordenadas em torno de *temas, de objetivos e de projetos*. (1976, p.35, grifos do autor e grifos nossos)

No caso da modelagem pelo MEF, apenas a título de ilustração, podemos citar no campo da engenharia civil, por exemplo, a proposta de temática da mecânica de contato mencionada por Bandeira e Chivante:

Além disso, os conceitos de solução de derivadas e integrais (apresentados nas matérias de Cálculo), associados à álgebra linear (representados pelas análises vetoriais e matriciais, por exemplo) e aos métodos numéricos aplicados (Método de Newton e o Método de Cholesky) podem, por meio do uso de uma linguagem computacional (C++ ou Delphi) demonstrar de maneira prática como se desenvolvem as deformações em um sistema estrutural. Além disso, elas já apresentam uma introdução às matérias de estabilidade e representam de modo bem didático, um início à modelagem estrutural e aos problemas de contato.

[...] Assim sendo, pode-se desenvolver uma proposta interdisciplinar onde, em cada semestre, o aluno aplica um novo conceito, sempre agregando mais informações e obtendo melhores resultados, de modo a estimular uma noção de avaliação de modelos físicos e dimensionamento de estruturas (2005, p.8).

Ou temas levantados como propostas de outros programas para ensino do MEF, como por exemplo,

Micro-computers provide a very flexible computing environment in which to learn the basics of structural engineering. Computer graphics can be used effectively to enhance the understanding of structural analysis computations. Visual interpretation of the input data, direct stiffness processing, and output results is best accomplished through the use of educational software which provides specially designed operations that are not usually found in commercial packages. CAL/SE provides

promising possibilities to train structural engineering students effectively in computerized structural analysis. (PAUTRE et al., 1990, p. 7)

[...] on more challenging and complex problems only) can be obtained from the author more interesting problems. The friendly environment for a nominal handling charge. of C-Map encourage students to experiment and to explore the seemingly abstract ideas hidden within complicated mathematics. The capability of C-Map derives from the technique of recursive nesting which unleashes the power of heretofore isolated, yet robust, algorithms. Such capability far surpasses that of the most comprehensive collection of FORTRAN scientific subroutine package (given the same number of basic algorithms). In addition, C-Map provides a simple, yet complete environment for developing educational materials, preparing technical reports, or more generally, facilitating the communication between students and instructors. (HA, 1990, p. 8)

Prosseguindo, citando outro exemplo no ensino de modelamento pelo MEF:

[...] The practical task of the present paper is the formulation of the basic concepts of electrical structural engineering finite element modelling education. The present paper attempts to anticipate what new development in instructional materials and technology are likely to occur in the finite element part of engineering education. In the present paper, this is simply achieved by introducing the basic concepts of electrical engineer and structural engineering through finite element analysis, The proposed educational procedure is ideally suited for inclusion into the modelling component of engineering education (ISREB, 1993, p.5)

Entre tantas possibilidades, vale dizer que a proposta de uma temática, no aspecto de uma proposta interdisciplinar, pode promover o trabalho de pesquisa, a reflexão do aluno, o trabalho de colaboração com vistas à aquisição de novos conhecimentos. Nesse contexto, o uso de programas de simulação tem papel relevante na aprendizagem significativa do aluno, propiciando a realização de projetos que tornam o ensino em sala de aula mais inovador, dinâmico, quando referenciados pelo professor a partir de pressupostos baseados na reflexão dialética, problematizadora de uma nova realidade, de uma nova abertura de mundo. (Freire, 2002), conforme já analisado anteriormente em nosso trabalho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pergunta de pesquisa que delineou esta monografia foi a seguinte: Quais as possibilidades da interdisciplinaridade no ensino do método de elementos finitos nos cursos de engenharia? E ao retornarmos aos objetivos específicos de nosso trabalho, temos:

- Discutir a natureza epistemológica no ensino da especialidade engenharia.
- Analisar o papel do método dos elementos finitos no processo de construção do conhecimento na graduação engenharia.
- Discutir a natureza da contribuição da interdisciplinaridade no ensino do método dos elementos finitos.
- Refletir sobre as possibilidades da interdisciplinaridade no ensino do método dos elementos finitos.

Nesta análise discutimos a simulação computacional tendo como base o que pode constituir o papel e as funções dos projetos educacionais interdisciplinares na universidade e na formação dos alunos. Assim, o objetivo proposto foi discutir a natureza do conhecimento na graduação de engenharia frente aos desafios da desfragmentação do saber. Desta maneira, nosso intento foi mostrar o que motiva a interdisciplinaridade no ensino de engenharia e o que justifica a abordagem por projetos.

Com isso, o desenvolvimento sobre esta temática permitiu delinear os resultados alcançados com a interdisciplinaridade, como a convergência de conhecimentos em uma pesquisa “concertada”, cujo foco, de pesquisa-disciplinar, passa a ser o de pesquisa-temática. Neste sentido, ampliamos o entendimento da necessidade do confronto dialético das disciplinas, pois o saber para ser crítico exige uma “construção”(démarche) teórica unificada a partir de uma solução na prática.

Nesse sentido, o desenvolvimento deste trabalho possibilitou refletir sobre o papel do método dos elementos finitos no processo de construção do conhecimento do aluno de engenharia, já que esta técnica numérica é relevante (mas não exclusiva) nesta área de conhecimento. Assim, ao problematizar, compreender e tematizar os elementos pedagógicos pertinentes ao MEF, percebemos que ocorre o aprofundamento nas modernas técnicas de

simulação, ao mesmo tempo que os aprendizes inovam nos projetos e suprimem suas expectativas quanto à aplicação dos conhecimentos científicos na prática, propiciando também a interação social entre colegas de sala de aula, entre diversas áreas de conhecimento, e a superação de seus próprios limites.

Compreende-se assim que as atividades interdisciplinares podem favorecer o amadurecimento e aprendizagem dos alunos quando, por exemplo, eles julgarem que existe uma lacuna entre a universidade e a profissão escolhida, ou quando não percebem a ligação entre as disciplinas do curso, ou mesmo quando são passivos frente ao curso escolhido por inexperiência frente aos conceitos e fundamentos que lhe são apresentados.

Nesse contexto, para que este trabalho discente gere uma cooperação que demonstre um novo conceito de homem pelo próprio aluno (JAPIASSU, 1976), delineado anteriormente ao longo desse trabalho, torna-se necessário que o recurso tecnológico de simulação pelo professor em ambiente de graduação de engenheiros seja fundamentado numa base pedagógica, tendo as especificidades do seu processo de ensino-aprendizagem apoiadas por uma pedagogia universitária apoiada pela política educacional da instituição, para que assim o recurso de simulação computacional não se limite apenas ao uso técnico de um computador, caracterizado apenas pelo empirismo do aluno, mas que as respostas obtidas pelo discente em seu trabalho sejam fruto de sua pesquisa científica e extra-científico (ético/social), resultado do trabalho de análise e síntese das várias disciplinas distintas do curso de graduação que convergiram em seu projeto (JAPIASSU, 1976).

Nesse sentido, concluímos que a simulação do MEF passa a ser um instrumento valioso para o professor de engenharia, possibilitando uma formação verdadeira do aluno, já que permite a este enxergar de forma consciente e crítica seu conhecimento apreendido, numa interação entre professor e aprendiz voltada para uma formação dialética. Neste ponto, o que passa a importar para o aluno não é a filosofia ou a metodologia das ciências naturais, mas sim a simulação de seu projeto, resultante da convergência entre as várias disciplinas distintas, que agora denunciam o homem e sua problemática, com suas especificidades, e que agora tornam sim o homem seu objeto de estudo (JAPIASSU, 1976).

Portanto, considerando o homem como existente, temos no confronto da totalidade entre as disciplinas em que a comunicação passa a ser uma metodologia integradora (JAPIASSU, 1976). Nesse sentido, torna-se importante a comunicação entre docente e

discente no que se refere à apreensão do conhecimento apreendido, pois conforme já discutido anteriormente, as disciplinas que convergem para o MEF foram desenvolvidas a partir de pressupostos teóricos, com várias e distintas hipóteses de simplificação, cada qual com seu embasamento, fundamento teórico, e somando-se a isso, existem também vários e distintos modelos físicos a serem aplicados, cada qual com sua simplificação e suporte teórico, formando assim um contexto de simulação de natureza interdisciplinar que requer crítica e reflexão sobre os resultados obtidos. Retomando neste ponto Japiassu, “a pesquisa aplicada trabalha com a pesquisa fundamental, e não a partir dela” (1976, p.107).

Concluimos ao término desta exposição, que a simulação do MEF é uma técnica que viabiliza a comunicação necessária na elaboração, na execução e análise do projeto do aluno, ao mesmo tempo que enriquece o conhecimento e a metodologia oriundas da convergência entre disciplinas distintas na engenharia, além de eliminar ou reduzir a patologia do saber apreendida em sua forma fragmentada, o que seria o mesmo que dizer que a simulação do MEF é um instrumento que favorece o domínio do conhecimento interdisciplinar nos cursos de engenharia.

REFERÊNCIAS

ARANTES, J.F.R. et al. **Proposta para Institucionalizar Atividades Multidisciplinares no Curso de Engenharia da Computação**. Anais do XXXVII COBENGE. In: COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2009, Recife, Pernambuco. Artigos Publicados. Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2009/artigos/597.pdf> >. Acesso: 05 out. 2016.

BANDEIRA, A.A.; CHIVANTE, M.R.P. **A Interdisciplinaridade da Análise Não Linear de Estruturas na Engenharia Civil**. Anais do XXIII COBENGE. In: COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2005, Campina Grande, Pb. Artigos Publicados. Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2005/artigos/SP-5-29543388814-1117857490250.pdf> >. Acesso: 05 out. 2016.

BANDEIRA, A.A.; CHIVANTE, M.R.P. **A Interdisciplinaridade do Ensino de Elementos Finitos no Curso de Engenharia Civil: Aprendizagem e Aspectos Pedagógicos Utilizando a Ferramenta Computacional Ansys**. Anais do XXXIV COBENGE. In: COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2006, Passo Fundo: Ed. Universidade Passo Fundo. Artigos Publicados. Disponível em: < http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2006/artigos/9_176_776.pdf >. Acesso: 05 out. 2016.

BANDEIRA, A.A.; GONZALEZ, M.S. **Didática para o Ensino Superior Aplicada às Disciplinas de Teoria das Estruturas e Método Dos Elementos Finitos**. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo – SP, [2008]. Anais do XXXVI COBENGE. In: COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2008, São Paulo/SP. Artigos Publicados. Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2008/artigos/3307.pdf> >. Acesso: 05 out. 2016.

BARRIOS, D.B. et al. **Demonstração do Efeito da Concentração de Tensões Empregando o Método Dos Elementos Finitos no Processo de Ensino na Engenharia Mecânica**. Anais do XXXIII COBENGE. In: COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2005, Campina Grande, Pb. Artigos Publicados. Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2005/artigos/SP-9-21458881873-1117721395779.pdf> >. Acesso: 05 out. 2016.

CAPES – Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – **III.2 – Critérios de Avaliação Trienal 2010 [2007-2009]**. Avaliação. Disponível em < <http://www.capes.gov.br/images/stories/download/avaliacao/INTER03ago10.pdf> >. Acesso em: 05 out. 2016.

_____ - **I.3 – Desafios para os Programas da Área Interdisciplinar**. Disponível em < http://www.ufjf.br/pgmc/files/2010/01/documento_area_2006_2009.pdf >. Acesso em: Jun/2015.

CARVALHO, José Dinis A.; LIMA, Rui M.. **Organização de um Processo de Aprendizagem Baseado em Projetos Interdisciplinares em Engenharia**. Anais do XXXIV COBENGE. In: COBENGE – Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2006, Passo Fundo: Ed. Universidade Passo Fundo, Portugal. Artigos Publicados. ISBN 85-7515-371-4. Disponível em: < http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2006/artigos/1_150_364.pdf > . Acesso: 05 out. 2016.

CHAPRA, Steven C, CANALE, Raymond P. **Numerical methods for engineers**. — McGraw-Hill, 6th ed.

CNE – CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO – Câmara de Educação Superior. **Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia**. Resolução CNE/CES 11/2002. Diário Oficial da União, Brasília, 9 de abril de 2002. Seção 1, p. 32. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf> > . Acesso: 05 out. 2016.

CUNHA, Maria Isabel da. Introdução. In: CUNHA, Maria Isabel da (Org). **Pedagogia Universitária: energias emancipatórias em tempos neoliberais**. Araraquara, SP: Junqueira&Martins, 2006.

DE FRANCISCO, Carlos Alberto de et al. **O Projeto Interdisciplinar como Ferramenta de Integração Curricular**. Anais do XXXIX COBENGE. In: COBENGE – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2011, Blumenau. Santa Catarina. Artigos Publicados. Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/sexoestec/art1923.pdf> > . Acesso: 05 out. 2016.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 32 ed. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

GRIMONI, J.A.B. ; NAKAO, O.S. **Capacitação de Professores para os Cursos de Engenharia**. Anais do XXXII COBENGE. In: COBENGE - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2004, Brasília – DF. Disponível em: < http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2004/artigos/07_456.pdf > . Acesso: 05 out. 2016.

HA, K.H. **A Programming Language for Engineering Computations**. Computers & Structures. Vol 39, No. 6, pp. 715-729, 1991. DOI: 10.1016/0045-7949(91)90215-8. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0045794991902158> > . Acesso: 05 out. 2016.

INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Instrumento de Avaliação de Cursos de Graduação - Presencial e a Distância**. Brasília, agosto de 2015. Disponível em: < http://download.inep.gov.br/educacao_superior/avaliacao_cursos_graduacao/instrumentos/2015/instrumento_avaliacao_cursos_graduacao_presencial_distancia.pdf > . Acesso: 05 out. 2016.

ISREB, M. **Electrical-Structural Engineering Finite Element Modelling Education**. Computers & Structures. Vol 46, No.3, pp. 573-577, 1993. DOI: 10.1016/0045-

7949(93)90226-4. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0045794993902264?np=y>>. Acesso: 05 out.
 2016.

JAPIASSU, Hilton. **Interdisciplinaridade e Patologia do Saber**. Rio de Janeiro, RJ: Imago Editora Ltda, 1976.

LOTTI, R.S.; MACHADO A.W.; MAZZIEIRO, E.T.; JÚNIOR, J.L. **Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos**. DOI: 10.1590/S1415-54192006000200006 . Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/242241642_Aplicabilidade_cientifica_do_metodo_dos_elementos_finitos> . Acesso: 05 out. 2016.

MELARAGNO, Michele G. **Introduction to Shell Structures: The Art and science of Vaulting**. Van Nostrand Reinhold. 1991. DOI 10.1007/978-1-4757-0223-1

OGASHAWARA, O.; DE FRANCISCO, C.A. de; KATO E.R.R. **Disciplinas Integradoras do Curso de Engenharia Elétrica da UFSCar**. Anais do XL COBENGE. In: COBENGE - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2012, Belém – PA. Disponível em: <
<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/104205.pdf>>. Acesso: 05 out. 2016.

OLIVEIRA, D.N.; FERREIRA, G.B.; PONTES, R.S.T. **Método dos Elementos Finitos como Ferramenta Didática para o Ensino de Eletrostática e Magnetostática**. Anais do XXXVIII COBENGE. In: COBENGE - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2010, Fortaleza – CE. Disponível em: <
<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2010/artigos/562.pdf>>. Acesso: 05 out. 2016.

PAUTRE, P.; LÉGER P.; PROULX J. **Computer Graphics for Computer Assisted Learning of Structural Analysis**. Comput. Educ. Vol.36, No. 6, pp. 1159-1166, 1990. DOI: 10.1016/0045-7949(90)90225-Q. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004579499090225Q>>. Acesso: 05 out. 2016.

ROMERO, Jesus F.A.; LIMA, Cícero R. de . **Unified Engineering: A Practical Contact of Students With Engineering Methods and Interdisciplinary Problems**. Anais do XXXIX COBENGE. In: COBENGE –Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2011, Blumenau – SC. Disponível em: <
<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/ressoestec/art2145.pdf>>. Acesso: 05 out. 2016.

SMITH, J.W. **Using Computers To Teach Structural Analysis**. Comput. Educ. Vol.8, No. 1, pp. 101-105, 1984. DOI: 10.1016/0360-1315(84)90058-7 .Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360131584900587>>. Acesso: 05 out. 2016.

SPANHOLI, A. A. at al. **O Ensino de Engenharia Mecânica: Como estamos formando?** Anais do XL COBENGE In: COBENGE- Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2012, Belém – PA.

Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/104128.pdf> >.
Acesso: 05 out. 2016.