

## O SOFTWARE NASTRAN COMO FERRAMENTA DE ENSINO NOS CURSOS DE ENGENHARIA

**Daniel Rinaldi Mendonça** - [cientecmecatrom@ig.com.br](mailto:cientecmecatrom@ig.com.br), [danielrinaldi@ig.com.br](mailto:danielrinaldi@ig.com.br)

**Roderley Camargo** - [roderley@unisal.com.br](mailto:roderley@unisal.com.br)

**Innocenzo Scandiffio** - [innocenzo@essj.com.br](mailto:innocenzo@essj.com.br)

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Centro Universitário Salesiano – UNISAL, Campus São José.

Av. Almeida Garret, 267 – Jd. Ns. Senhora Auxiliadora

CEP 13087-290 – Campinas – São Paulo.

***Resumo:** Este artigo discute a utilização do software NASTRAN como uma ferramenta de ensino de análise estrutural através do método dos elementos finitos para os cursos de engenharia, onde a disciplina Mecânica dos Sólidos é lecionada. Assim, algumas das experiências obtidas durante o período que essa disciplina foi oferecida pelo Centro UNISAL de Campinas, aos estudantes de Engenharia de Automação e Controle são apresentadas, enfatizando as reações quanto ao estilo das aulas, aos exercícios propostos e principalmente com relação à metodologia de avaliação adotada. Finalmente é explicado o funcionamento do ambiente de trabalho que está sendo desenvolvido dentro do TelEduc envolvendo o NASTRAN amparado por outros softwares como o Pro-Engineer e Lotus ScreenCam. O objetivo final é conseguir um material didático no formato digital capaz de servir como um laboratório virtual de CAE (Computer Aided Engineering), disponibilizado via Internet, onde o aluno consiga visualizar o comportamento estrutural de um modelo previamente criado em um software de CAD segundo as condições de contorno impostas.*

***Palavras-chave:** CAE, TelEduc, NASTRAN, Ferramenta de Ensino, Laboratório Virtual.*

### 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico na área de desenvolvimento de softwares, muito são as tentativas no campo da educação em projetar um ambiente de ensino mais interessante e flexível aos alunos de graduação. Tendo em vista que dentro das universidades privadas o modo de ensino convencional, onde o professor está habituado a entrar em sala e seguir um livro texto para transmitir o conhecimento na forma de resumos escritos na lousa, não está sendo um modo eficaz de atrair a atenção dos estudantes e conseqüentemente acaba resultando em um baixo índice de aproveitamento, teve-se a iniciativa de dar início a um trabalho de pesquisa sobre como melhorar a estratégia de ensino da disciplina Mecânica dos Sólidos.

Inicialmente, foram analisadas as dificuldades expostas pelos alunos, sendo as mais marcantes as deficiências acumuladas durante o curso, o cansaço físico dos alunos por conta do trabalho e a falta de iniciativa em realizar as leituras bibliográficas sugeridas pelo professor no início de cada semestre. Outro fator levado em consideração foi a necessidade formar pessoas aptas a trabalhar com tecnologias que atualmente estão sendo requisitadas pelas grandes empresas que trabalham com o sistema de manufatura integrada por computador. Este sistema é comentado com mais detalhes no decorrer deste trabalho, mas a princípio é bom fazer menção de que a disciplina Mecânica dos Sólidos quando escolhida para ter seu método

de ensino aprimorado, foi devido a importância que ela tem dentro do processo da manufatura integrada por computador. Nesta disciplina são abordados assuntos de engenharia indispensáveis a qualquer engenheiro que atue na área de projeto. Os mais comuns são os possíveis tipos de ensaios mecânicos e térmicos, que possibilita o profissional prever o comportamento estrutural de uma peça a ser desenvolvida com relação a esforços, vibrações e temperaturas excessivas.

Mediante a importância desta disciplina, a escolha dos Softwares que seriam utilizados também foi um fator a ser considerado. Buscou-se por intermédio de pesquisas e levando em consideração os recursos já disponíveis, a melhor maneira de conseguir um material didático que viesse a atender as necessidades dos estudantes. Assim, o software NASTRAN foi escolhido como a ferramenta principal da construção do laboratório virtual, devido a seu poderio em realizar análises do tipo estrutural. O Lotus Screencam permite a criação das aulas teóricas, porém animadas e “auto-explicativas“ diferindo quanto ao modo convencional de ensinar adotado por muitos professores. Finalmente o TelEduc foi requisitado para gerenciamento das tarefas que são realizadas pelos alunos durante as aulas e atividades extra-classe.

Unindo todos os aspectos até aqui comentados e baseados em algumas experiências vivenciadas dentro do meio acadêmico, está sendo possível desenvolver um ambiente eletrônico, com uma potencialidade de ensino apropriada para estudantes de instituições do gênero privado e com características que permite o uso dele como uma ferramenta de ensino a distância. Assim ao longo deste texto estará sendo realizada uma discussão com uma abordagem mais profunda a fim de esclarecer melhor o leitor a respeito de alguns tópicos citados nesta introdução. Também, espera-se dar ênfase a necessidade de uma mudança nas estratégias de ensino e apresentar como novidade, o laboratório virtual de CAE (Computer Aided Engineering) que está sendo desenvolvido pelo Centro UNISAL de Campinas, com o intuito de proporcionar aos alunos de engenharia um ensino de alta qualidade.

## **2. CAE – NASTRAN (COMPUTER AIDED ENGINEERING)**

O nome NASTRAN significa NAsa STRuctural ANalyze ( Análise Estrutural NASA ), sendo assim, um software de engenharia assistido pelo computador , desenvolvido pela NASA - Agência Espacial Americana, para analisar o comportamento estrutural de seus projetos, ainda na fase virtual. Este software utiliza modelos digitais para simular fenômenos físicos reais através de métodos numéricos aproximados. CAE-NASTRAN é baseado no Método dos Elementos Finitos, o qual discretiza um modelo matemático em muitas partes pequenas, resolvendo um conjunto de equações algébricas para obter os resultados desejados, em função do carregamento e das condições de contorno aplicados.

O software CAE-NASTRAN já é razoavelmente difundido entre os engenheiros mecânicos e civis, principalmente para a realização de cálculos estruturais como Linear Static Analysis, Normal Modes Analysis e Buckling analysis.

### **2.1 Linear static analysis (Análise Estática Linear)**

Linear static analysis representa o tipo mais básico de análise. O termo "Linear" significa a resposta computada durante a simulação de deslocamento ou *stress*, por exemplo, onde a linearidade está relacionada com a força aplicada. O termo "Estático" são os meios pelos quais as forças não variam com tempo ou, que a variação de tempo é insignificante e por isso pode ser seguramente ignorada.

Esta carga completa freqüentemente é expressa em termos de lb/in<sup>2</sup>, N/m<sup>2</sup> ou kgf/mm<sup>2</sup>. Tais cargas freqüentemente são definidas usando uma carga máxima esperada com algum fator de segurança aplicada a elas.

Podem-se citar como exemplos de cargas estáticas:

- Fundação de uma construção ou parte dela, induzindo cargas estáticas;
- Temperatura aplicada a um “campo”, onde estas, causam uma expansão térmica, que ao mesmo tempo, induzem a determinadas forças intramoleculares;

A equação da análise estática é:

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (1)$$

Onde,

$K$  é a matriz de rigidez do sistema gerada automaticamente pelo NASTRAN com base na geometria e propriedades aplicadas.

$F$  é o vetor de forças aplicadas (o qual é especificado).

$U$  é o vetor de deslocamentos que são computados pelo NASTRAN (elementos de força, tensão, reação etc).

As forças aplicadas podem ser usadas de forma independente ou combinadas com outras forças. As cargas também podem ser aplicadas em casos de carga múltipla, onde estas representam uma situação particular ou uma condição limite. Casos com cargas múltiplas prevêm meios de solução e eficiência, onde o tempo de resposta, corresponde à uma pequena fração de tempo em relação a outra carga.

## 2.2 Buckling analysis (Análise de Flambagem)

Em análise estática linear, uma estrutura é assumida em um estado de equilíbrio estável. Como a carga aplicada é removida, a estrutura retorna para a sua posição original sem deformações. Certas combinações de cargas “inferiores”, por mais que a estrutura continua a se deformar sem um aumento na magnitude de carga, obtém-se um comportamento instável da estrutura.

Buckling analysis incorpora o efeito da rigidez diferencial, o qual inclui uma ordem da mais alta tensão de deslocamento, relacionadas com as funções da geometria, tipo de elemento e cargas aplicadas. De um ponto de vista físico, a rigidez diferencial representa uma aproximação linear suavizada tendo como finalidade a manutenção do equilíbrio estático estabilizado sem deformações, distorções ou dobramentos.

A equação (2) mostra como a flambagem pode ser calculada:

$$[K + \lambda i . Kd] = 0 \quad (2)$$

Onde,

$K$  é a matriz de rigidez do sistema

$Kd$  é a matriz rigidez diferencial ( gerada automaticamente pelo NASTRAN, com base na geometria, propriedades e cargas aplicadas)

$\lambda i$  é o auto valor a ser computado.

Uma vez que este valor é encontrado, a carga de flambagem crítica poderá se resolvida pela equação (3):

$$P_{cr} = \lambda i . Pa \quad (3)$$

Onde,

$P_{cr}$  é a carga crítica de flambagem

$Pa$  são as cargas aplicadas.

O método de Lanczos é o melhor método para se extrair o valor, porque tem a capacidade de predirar com maior precisão pelo menor custo, sendo utilizado no método de falhas.

### 2.3 Normal Modes Analysis (Análise de Modos Normais de Vibração)

Normal Modes Analysis computa as frequências naturais e o modo espectral de vibração de uma estrutura. As frequências naturais são as frequências que uma estrutura tende a vibrar quando submetida a uma ação natural. Por exemplo, a corda de um piano são tonadas a vibrar numa frequência específica. A forma deformada de uma frequência natural específica é chamada de Shape Mode ou Modal shape (forma de modo). A análise de modos normais também é chamada de Análise Real de Auto Valor.

Normal Modes Analysis formam uma compreensão minuciosa das características dinâmicas da estrutura, sendo determinado por muitas razões, entre elas:

- A interação dinâmica entre um componente e o suporte da estrutura;
- A frequência natural que suporta a estrutura impedindo a operação de ressonância do componente, amplificando dinamicamente as cargas;
- Os efeitos dinâmicos descaracterizando o projeto de fato;
- A resposta forçada de um modo de vibração em uma análise subsequente;
- O grau de correlação entre os dados de teste modal e os resultados obtidos.

Em análise de modos normais determinamos o auto valor a ser computado e o vetor de auto valor do modelo. Para cada auto valor, que é proporcional a uma frequência natural, há um vetor correspondente, ou modal shape. Observe a equação (4):

$$[ K - M \cdot \lambda_i ] \{ \Phi_i \} = 0 \quad (4)$$

Onde,

$K$  é a matriz de rigidez do sistema (propriedades de inércia).

$M$  é a matriz de massa do sistema (gerada automaticamente pelo NASTRAN com base na geometria e propriedades elásticas)

$\lambda_i$  e  $\Phi_i$  são os auto-valores a serem computados, onde  $\lambda_i$  é o auto valor e  $\Phi_i$  é o vetor de auto valor ou modal shape.

O auto valor está relacionado com as frequências naturais como mostra a equação (5):

$$\Phi_i = \lambda_i / 2\pi \quad (5)$$

Existe uma diferença importante entre modal shape e deslocamentos estáticos que é a escala.

Em análise estática os deslocamentos são exatamente os deslocamentos físicos aplicados as cargas. Porém, não existe carga aplicada em análise de modo de frequências naturais, os componentes de todos os modals shapes podem ser escalado por um fator arbitrário para cada modo.

O elemento de força, stress e forças de reação são computados da mesma maneira em relação a análise estática, com cada um tratando os deslocamentos como sendo estáticos. Alguns Métodos de aplicação para Análises de Frequências Naturais são: Lanczos method, Givens method, Householder method, Modified Givens method, Modified Householder method, Inverse power method e Sturm modified inverse power method.

O método Lanczos, como já foi dito anteriormente, é o melhor método a ser aplicado nestes tipos de análises devido a sua solidez, porém, os outros métodos (particularmente os métodos Givens Modified e o Sturm modified inverse power method) têm aplicabilidade para casos particulares.

O método de auto valor serve também para modelos não contidos nas análises, como corpos rígidos e livres, moldados em técnicas de análise como por exemplo, no setor aeroespacial e alguns casos de indústria automobilística.

## **2.4 Tipos de Análises feitas pelo NASTRAN**

O NASTRAN possui a capacidade de simular análise térmica em toda extensão de um projeto, que incluem: a transmissão de calor livre e forçada, a condução limite de radiação, temperaturas específicas, superfície e calor volumétrico de força e elementos de sistemas de controle térmicos.

## **2.5 Propriedades Térmicas dos Materiais**

A lista de propriedades térmicas dos materiais contida no NASTRAN inclui: a condutividade térmica, a densidade, a constante de pressão de calor específico, a viscosidade dinâmica e a geração de calor interno do material a ser analisado.

## **2.6 Condições de Limites Térmicos**

O NASTRAN suporta uma faixa de condições de limite térmico e calor gerado, começando com uma temperatura básica e aquecendo o fluxo das condições limite, movendo para os mais complicados mecanismos de transferência de calor e massa, associados com transmissão e radiação. Todas as condições de limites térmicos podem ser moldadas como funções de tempo.

Condições de limites térmicos podem ser aplicadas para ambos os pontos dos nós, assim como nos elementos, observando que cada nó, pode possuir até seis graus de liberdade.

## **2.7 Condições Limite de Temperatura**

Restrições de temperatura podem ser aplicadas para cada nó ou elemento. Se é usado o método do elemento, a temperatura é convertida para os pontos dos nós que formam este elemento. Se um ponto do nó é compartilhado por mais de um elemento em temperaturas definidas, então a temperatura deste nó é a média de todas as temperaturas do elemento que estão conectados. Para evitar qualquer confusão, recomenda-se o uso do método nodal, onde a aplicação dos limites de temperatura é altamente recomendável. Restrições de temperatura podem ser definidas como qualquer constante ou como variável de tempo.

## **3. OS BENEFÍCIOS CONSEGUIDOS COM O ENSINO A DISTÂNCIA**

Atualmente o uso de técnicas de educação a distância dentro das faculdades privadas está se tornando muito discutido. Os benefícios que esses recursos podem trazer na aprendizagem dos alunos são inúmeros entre os principais estão: a liberdade dos estudantes quanto ao horário das aulas, a flexibilidade do espaço físico utilizado pelos alunos, a facilidade de disponibilidade de material didático e de propagação do conhecimento, o incentivo ao trabalho em grupo, etc.

Com o avanço da tecnologia do hardware e software, novas melhorias estão surgindo com relação ao ensino a distância. Assim a idéia de explorar os meios de comunicação existentes de forma mais aprofundada, atualmente aparenta ser uma solução viável e capaz de tornar o ensino superior privado mais acessível e de melhor qualidade.

Outro aspecto relevante que é trabalhado no desenvolvimento de cursos a distância é a questão do estilo das aulas. Quando a potencialidades dos softwares são realmente exploradas, é possível conseguir uma maior interatividade dos alunos com o conteúdo ministrado, as aulas se tornam mais interessantes, menos cansativas despertando curiosidades a respeito do assunto abordado. Tudo isso pode ser conseguido se o método convencional de ensino for auxiliado por um ambiente virtual.

Na metodologia convencional de ensino, o aluno está acostumado a freqüentar as aulas teóricas, resolver exercícios e finalmente fechar o assunto com uma prova. Já em um ambiente virtual o ensino visualiza a parte teórica e exemplifica com a parte prática transformando a sala de aula convencional em um laboratório. Assim, as aulas deixam de ser apenas teóricas e através de experimentos práticos, como por exemplo, algumas alterações realizadas em um banco de dados criado em um software, o aluno pode realizar vários exercícios de acordo com sua curiosidade. A medida que são concluídas essas experiências, constrói-se um conhecimento teórico e prático, diferentemente de uma aula comum em que o conceito ensinado é apenas decorado temporariamente.

Para os estudantes, principalmente os que têm que conciliar seus estudos com o trabalho, a educação a distância vem como uma solução para vencer as barreiras impostas pela falta de tempo, por condições financeiras, entre outras. Quando um estudante opta por ingressar em um curso a distância ele automaticamente tem a liberdade de escolha do conteúdo que deseja estudar, além de poder criar o seu próprio programa de estudo de acordo com sua disponibilidade de horário. Essa talvez seja a principal vantagem em relação ao ensino convencional, uma vez que o aluno montando seu próprio horário pode conciliar seu trabalho com a aprendizagem.

É possível observar que são inúmeras as características benéficas que podem ser apresentadas para justificar o uso da tecnologia desenvolvida em prol da educação a distância. Na intenção de aperfeiçoar o ensino de sistema CAE (Computer Aided Engineering) para os cursos de engenharia do Centro UNISAL de Campinas – SP surgiu a idéia de utilizar os recursos de software e hardware existentes na faculdade, a fim de gerar um curso de CAE a distância na forma de um laboratório virtual.

#### **4. O ENSINO DE CAE (COMPUTER AIDED ENGINEERING) NO FORMATO DE UM CURSO A DISTÂNCIA**

##### **4.1 A Escolha da Disciplina para Elaboração do Curso**

A disciplina Mecânica dos Sólidos é oferecida aos alunos dos cursos de Engenharia do Centro UNISAL de Campinas – SP, no período de um semestre. Durante esse espaço de tempo, assuntos como: as principais formas de análise estrutural, a maneira correta de aplicá-las e como interpretar os resultados obtidos são abordados para dar ao aluno uma visão ampla sobre o assunto.

Os principais motivos que levaram a escolha desta disciplina para a criação de um curso a distância foram sua importância na formação de um engenheiro, a carga horária insuficiente, o interesse acentuado dos alunos em conhecer melhor o software usado para simulação e a possibilidade de gerar cursos de treinamento para outras entidades.

Quando a iniciativa de criar um curso a distância com essa disciplina foi tomada, a idéia era justamente trabalhar os motivos anteriores, enriquecendo o conhecimento do aluno e tornando a carga horária maior para que outros exercícios pudessem ser feitos com mais tranquilidade, sem ter o compromisso de resolvê-los em sala para serem avaliados. Com relação a treinamentos a serem oferecidos a outras entidades, vale a pena ressaltar que essa é mais uma vantagem da elaboração de cursos a distância, que é o aspecto econômico, possibilitando gerar capital para a faculdade a partir de um curso oferecido via internet na forma de grupos de treinamentos e diminuir o custo para os estudantes.

##### **4.2 Estratégias e Técnicas de Ensino e Aprendizagem**

As estratégias e técnicas de ensino e aprendizagem foram definidas mediante as experiências vivenciadas nas salas de aula. Fatores como a falta de tempo dos alunos que trabalham para estudarem as bibliografias recomendadas, bem como a dificuldades que

muitos tem em compreenderem um certo conceito por intermédio apenas da leitura, foram decisivos na estruturação do curso.

Assim, optou-se em criar um ambiente de estudo baseado em recursos áudio visuais, onde o estudante pode interagir constantemente com os exemplos propostos. As aulas são auto-explicativas, realizadas passo a passo e quando possível são feitas sugestões de mudança de parâmetros para que o aluno deixe o costume de decorar uma seqüência de passos e passe a entender o objetivo dos exercícios propostos.

Com relação a parte teórica da disciplina, a cada aula é feita um breve resumo sobre o assunto que será estudado. Após o resumo é proposto um exercício resolvido passo a passo, envolvendo uma situação prática dentro da engenharia. Finalmente, alguns exercícios são solicitados para serem resolvidos, ficando a critério do estudante ter um “acompanhamento virtual” ou não.

O acompanhamento virtual, nada mais é que a seqüência de como montar e analisar o exercício proposto. Porém, ele é realizado por intermédio de uma animação que simula todos os passos que o aluno deve seguir para completar o exercício.

O estilo de avaliação é no formato de um exercício, realizado em um computador e visa verificar se o aluno não só aprendeu a modelar o problema proposto no software utilizado, como também avalia a capacidade que ele adquiriu em interpretar os resultados obtidos pela simulação.

#### **4.3 Escolhendo os Recursos de Software a serem utilizados**

Quando se pretende criar um curso a distância, a primeira preocupação que surge é relacionada ao ambiente de trabalho que fará o gerenciamento dos alunos bem como do material didático a ser disponibilizado. A fim de solucionar essa problemática optou-se pela utilização do Ambiente TelEduc, desenvolvido pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

A escolha do Ambiente TelEduc deu-se devido a sua praticidade de manuseio e instalação dentro de um servidor em ambiente operacional Linux. Outros fatores que podem ser mencionados é a fácil familiarização tanto por parte do formador do curso quanto do aluno com o ambiente de trabalho, a facilidade em disponibilizar material didático e a possibilidade de adaptação do TelEduc com os diversos tipos de cursos que podem ser formulados.

Outro software importante para o desenvolvimento de aulas animadas e baseadas em recursos áudio visuais foi o LOTUS SCREENCAM. A partir dele foi possível a criação de aulas auto-explicativas e animadas. Assim todo o procedimento necessário para que o aluno fosse bem sucedido e ágil durante a montagem e simulação do modelo proposto, pode ser criado com sucesso.

Com relação ao software de análise estrutural, foco do curso de CAE, optou-se em utilizar o NASTRAN. Com ele, o aluno pode visualizar o comportamento da estrutura de uma peça, quando submetida a tensões mecânicas, efeitos térmicos, entre outros efeitos físicos. Além disso, seu manuseio é simples e capacita o aluno predir possíveis quebras que possam ocorrer quando certas condições são impostas.

Finalmente, quando necessário gerar superfícies e geometrias complexas que acabam se tornando difíceis de serem modeladas dentro do NASTRAN, um software de CAD foi escolhido na intenção de facilitar o trabalho dos alunos. O Pro-ENGINEER por ser um software de CAD bem aceito atualmente pelo mercado, ficou sendo a solução para modelamentos considerados complexos, devido aos recursos paramétricos e variacionais.

Juntando todo o potencial oferecido por esses softwares, espera-se que as aulas da disciplina Mecânica dos Sólidos para os cursos de engenharia, se tornem mais agradáveis e interessantes aos alunos, bem como através de todo material criado seja possível futuramente disseminar o conhecimento da tecnologia CAE, através de treinamentos realizados a distância.

## 5. PROPOSTA DE UM LABORATÓRIO VIRTUAL PARA ENSINO DE CAE PARA OS CURSOS DE ENGENHARIA

Juntando todo os recursos tecnológicos até agora discutidos, bem como a necessidade de uma mudança na metodologia de ensino convencional utilizada pelas faculdades, surge a proposta de desenvolvimento de um laboratório virtual de CAE.

Como a figura 1 mostra, a entrada do aluno ao mundo da “engenharia virtual” tem início, a partir do momento que o aluno é aceito e cadastrado no servidor.



Figura 1 - Tela inicial do Ambiente TelEduc

Uma vez que o ambiente TelEduc é acessado o aluno está pronto para começar a estudar. Na figura 2 observa-se que o TelEduc pode ser comparado com o ambiente físico de uma faculdade, isso porque dentro do TelEduc o aluno tem sua frequência nas aulas controladas pelo formador do curso, tem acesso a uma biblioteca virtual no espaço destinado a leitura, pode consultar o material didático do curso que é disponibilizado pelo formador, pode interagir com outros alunos e até mesmo com o professor, utilizando recursos como a sala de bate papo virtual, fóruns de discussão e correio eletrônico. Além desses recursos é possível dentro deste ambiente virtual fazer avaliações, atividades em grupos e até mesmo requisitar do aluno eventuais atividades individuais.

Todos esses recursos entre outros que fazem com que o ambiente TelEduc se assemelhe a uma escola convencional que pode ser acessado pelos alunos através do menu de opções que é colocado a disposição dos usuários como pode-se observar na figura 2.

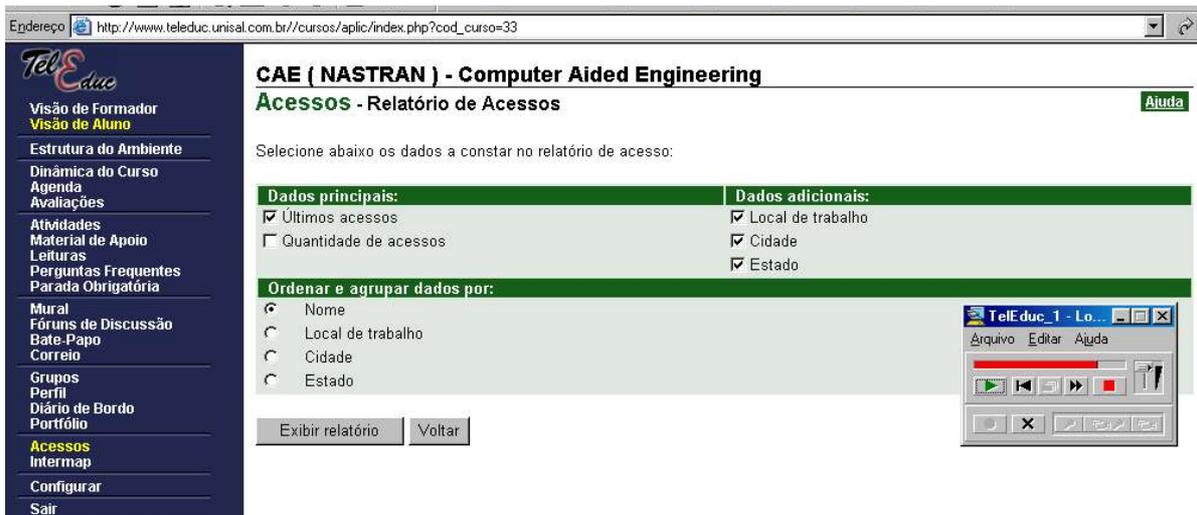


Figura 2 - Por dentro do ambiente TelEduc e as opções disponibilizadas aos alunos.

Sabendo como funciona o ambiente de trabalho dos alunos, é possível conhecer como as aulas são realizadas dentro do TelEduc. Como o curso trata a respeito do ensino de um software de CAE, as aulas teóricas estão sendo desenvolvidas através de pequenas animações feitas com o auxílio do LOTUS SCREENCAM, onde o aluno assiste às aulas passo a passo possibilitando a visualização do procedimento para a utilização do software NASTRAN. Esses arquivos são acessados de dentro do TelEduc através do menu de material de apoio. A figura 3 mostra o acesso de um aluno do Centro UNISAL de Campinas-SP a uma das aulas de mecânica dos sólidos realizada com o auxílio do NASTRAN.

Observa-se também que durante a apresentação do filme o aluno pode controlar o andamento da seqüência de imagens a serem mostradas, por intermédio de um controle que o LOTUS SCREENCAM abre quando a animação é executada. No caso da figura 3 o controle aparece no canto superior esquerdo e a aula apresentada trata-se de como criar uma animação de um modelo tridimensional, previamente criado em um software CAD e analisado matematicamente pelo NASTRAN segundo as condições que foram impostas.

A figura 4 ilustra um exemplo de exercício proposto e que é disponibilizado também pelo TelEduc. Observa-se que a agenda disponibilizada pelo ambiente TelEduc, sugere ao aluno um completo planejamento acadêmico da disciplina, principalmente com relação aos exercícios e praticas laboratoriais virtuais, que devem ser executadas para o cumprimento dos objetivos comportamentais da referida disciplina.

Após as aulas teóricas e o aluno tendo concluído o exercício passo a passo, um exercício semelhante é proposto, com o objetivo de fixar os conceitos que foram apresentados como também fazer com que o aluno desenvolva habilidades de preenchimento dos parâmetros físicos como densidade, calor específico, viscosidade, módulo de elasticidade (transversal e longitudinal), coeficiente de Poisson, condutividade térmica, coeficiente de dilatação térmica linear, etc que são necessários para que a simulação seja bem sucedida e as condições de contorno sejam mais relevantes possíveis. Finalizado o exercício, o aluno segue então para a próxima fase da tarefa que é a de enviar o arquivo feito para o repositório do servidor de dados TelEduc chamado aqui de portfólio, onde será salvo e a ficara a disposição do docente para as devidas argüições e comentários.

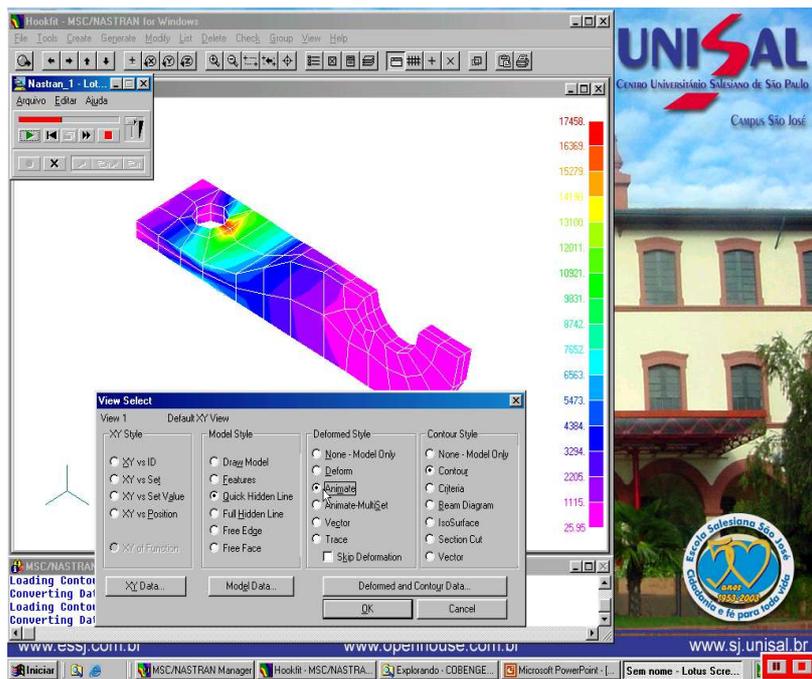


Figura 3 - Exemplo de aula teórica dentro do ambiente TelEduc.

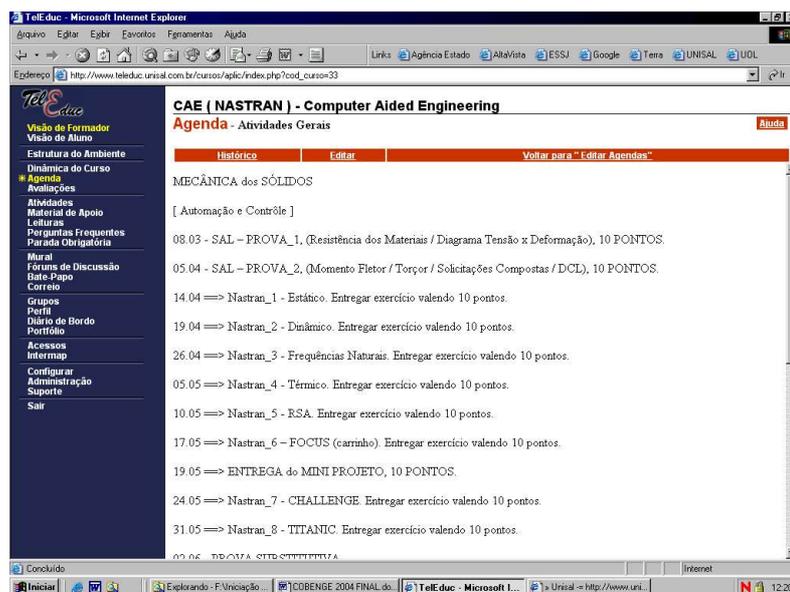


Figura 4 - Exemplo de Exercício Proposto aos Alunos

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho em questão não só aborda a utilização do software NASTRAN como um facilitador virtual no ensino da disciplina mecânica dos sólidos, mas também toda interface com o TelEduc, que é um software de gestão do ensino a distância. Por ter sido concebido e desenvolvido de forma participativa, todas as suas ferramentas foram idealizadas, projetadas e depuradas segundo necessidades relatadas pelos seus próprios usuários, inclusive por pessoas não especialistas em computação.

Graças a interface gráfica amigável, foi possível encapsular outros softwares (Lotus Screencam e NASTRAN) com o escopo de tornar mais dinâmico e objetivo, o ensino da disciplina mecânica dos sólidos aos alunos do curso de engenharia elétrica com ênfase em

automação e controle do Centro Universitário Salesiano de São Paulo (UNISAL), unidade de ensino de Campinas / SP .

Para o desenvolvimento do modelo matemático tridimensional, utilizou-se do software Pro-Engineer para a geração do arquivo CAD, que serviu de base para pré-processamento do NASTRAN, seguido da introdução das características de restrição, material e carregamento nodal, mais comumente chamado de condições de contorno. Após, chega-se ao solver que são os cálculos internos executados pelo NASTRAN, finalizando com a análise dos resultados gerados pelo algoritmo interno computacional, denotado pelo FEM (Finite Element Method) método dos elementos finitos.

A reação discente com relação a esta nova metodologia foi bastante positiva e gerou muita motivação, devido a facilidade do aprendizado, possibilidade de cursar a disciplina a distância e no melhor horário de conveniência para o aluno, assim como também é possível a visualização dos resultados em tempo real. Observou-se também um significativo aumento no nível de conhecimento e produtividade em sala de aula, por parte dos alunos. Resultados estes que foram espelhados nas excelentes arguições finais, após um período de aulas com duração de seis meses, totalizando 72 horas aulas de curso, sendo que a média de horas cumpridas pelo aluno no ambiente do TelEduc, ultrapassou a marca de 100 horas, incluindo o tempo de iteratividade virtual através de chats, correio, fóruns, mural e disponibilização das atividades através do recurso denominado portfólio.

Neste contexto de ambiente colaborativo, houve muita aproximação do aluno com o professor, tornando o ambiente de ensino muito profissional, inclusive com exposições de casos reais ocorridos nas indústrias e que foram abordados em sala de aula, com as devidas considerações e resolução do problema, que foram compartilhados a toda comunidade discente. A presença a aula foi outro marco relevante e demonstrou que esta metodologia é muito funcional, podendo ser aplicada em outras disciplinas no campo das ciências exatas.

Também é importante ressaltar o crescente estímulo por parte de muitos alunos em avançar no conhecimento dos sistemas de informática científica, mais precisamente em técnicas CAE (Computer Aided Engineering), como forma de validar projetos de iniciação científica e principalmente, levar este aprendizado junto as indústrias onde estes alunos trabalham, acoplando nas atividades do dia a dia.

Por fim e como idéia para trabalhos futuros, possivelmente a sugestão de continuidade mais importante seja em torno da união dos estudos e metodologias, criados por diversos pesquisadores de forma isolada. A integração de forma mais amigável com os programas de CAD e elementos finitos (para a criação das malhas e visualização dos resultados) também é um ponto a ser aprimorado nos trabalhos futuros, contemplando um número ainda maior de soluções gráficas possíveis, incluindo outras áreas do conhecimento como por exemplo nanotecnologia, biotecnologia, moldes plásticos, prototipagem rápida e criogenia e otimização topológica, tendo como base, o método dos elementos finitos e o ensino virtual colaborativo com orientação a objeto.

## ***7. Agradecimentos***

O desenvolvimento de todo este trabalho não seria possível sem o apoio do programa BICSAL do Centro Universitário Salesiano de São Paulo UNISAL Campinas-SP, que financia e disponibiliza os recursos necessários de hardware e software a esse projeto de pesquisa, assim como a diretoria de pesquisa e pós-graduação pelo apoio acadêmico incessante. Também agradecemos aos funcionários do Centro UNISAL de Campinas-SP que indiretamente colaboraram com o andamento deste projeto, especialmente as funcionárias da biblioteca do Centro UNISAL Jenifer de Souza Nascimento, Karin Freitas e Carolina Stecca

que atenciosamente nos ajudou a fazer o levantamento bibliográfico necessário para o desenvolvimento e enriquecimento deste trabalho.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GALLAGHER, R. H., **Finite Element Analysis**, New Jersey, 1975.

BATHE, K. J., **Numerical Methods in Finite Element Analysis**, Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1976.

CHARLES, K., **Introduction a la Methode des Elements Finis**, Paris: Rokeby, 1979.

MACNEAL, R., **MSC Nastran for Windows**, Ed. 1999, MSC Mac Neal Schwendler Corporation, 1999

FERREIRA, S. B., **Análise dos Escoamentos sobre aerofólio usando a técnica dos Volumes Finitos**, Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, 2003.

GONÇALVES, M. B. R. O., **Conferencia Mundial de Ensino Superior. Tendências de Educação Superior para o Século XXI /UNESCO/Conselho de Reitores da Universidades Brasileiras**, UNESCO, Brasília, 1999.

### THE NASTRAN SOFTWARE AS A TEACHING TOOL IN THE ENGINEERING COURSES

**Abstract:** *This article discusses the utilization of the NASTRAN software as a tool on analysis through the finite element method for the engineering courses, which teach here presented Solids Mechanic. Some of the experiences came from the period that this discipline was offered by the Centro UNISAL in Campinas, for students of Automation and Control Engineering, emphasizing the student's reactions relationship to the class style, proposed exercises and the evaluation method adopted. Finally is explained the functioning of the work environment that is being developed inside the TelEduc involving NASTRAN aided by others softwares, as the Pro-Engineer and Lotus Screencam. The purpose of this work is to obtain a didactic teaching material in digital format in order to be able like a CAE virtual laboratory, hosted via internet, where the student could see the structural behavior modeling previously created in a CAD software, according to the imposed boundary conditions.*

**Keywords:** *CAE, TelEduc, NASTRAN, Teaching tool, Virtual Laboratory.*