



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos

Fernando Paz Cardoso

nota final
7,0 (nota)
hAm

**Métrica de transferência de dados entre sistemas
CAD/CAM/FEA via ISO-STEP**



Fernando Paz Cardoso nusp 3127595

**Métrica de transferência de dados entre sistemas
CAD/CAM/FEA via ISO-STEP**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Edson Gomes

TE06
C 179m

15500330

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011894

FICHA CATALOGRÁFICA

Cardoso, Fernando Paz

**Métrica de transferência de dados entre sistemas CAD/CAM/
FEA via ISO-STEP / F.P. Cardoso. -- São Paulo, 2006.**

51 p.

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de
Sistemas Mecânicos.**

**1.CAD/CAM 2.Método dos elementos finitos 3.STEP I.Univer-
sidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II.t.**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Fernando Paz Cardoso

Métrica de transferência de dados entre sistemas CAD/CAM/FEA via ISO-STEP

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Edson Gomes

Assinatura: _____

Prof. Dr. Lucas Moscato

Assinatura: _____

Prof. Dr. José Reinaldo Silva

Assinatura: _____



Resumo

Este trabalho tem como objetivo a análise da possibilidade de construção de uma métrica para avaliação de consistência da transferência de dados entre sistemas CAD, CAM e FEA. A importância do assunto deve-se ao fato constatado pela prática corrente, através de utilização de formatos de transferência proprietários e outros normalizados como IGES, do elevado custo envolvendo retrabalhos e correções a que são submetidos, principalmente projetos constituídos de subconjuntos. Interferências, perdas de entidades e desvios gráficos, são para citar alguns, os principais itens a serem considerados nessas discussões.

Abstract

This work has as objective the analysis of the possibility of construction of a metric for evaluation of consistency of the interchangeability of data transfer between CAD, CAM and FEA systems. The importance of the subject is evidenced on the practical chain, through use of proprietors transfer formats and normalized ones as IGES, of the cost raise involving corrections, mainly for projects made of subgroups. Graphical interferences, entity losses and shunting lines, are for citing some, main itens to be considered in these quarrels.



Lista de ilustrações

Figura 4.1 - Camadas do STEP.....	19
Figura 4.2 - Escopo do Protocolo de Aplicação AP214.....	22
Figura 4.3 - Resultado de transferência do 7º Benchmark.....	24
Figura 5.1 – Esquema do conjunto utilizado nos testes.....	32
Figura 5.2 – Tela inicial do ALGOR v19 com o conjunto.....	34



Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Tipos de dados compartilhados.....	11
Tabela 2.2 – Comparação entre tradução direta e arquivo neutro.....	13
Tabela 4.1 – Exemplos de APs do STEP.....	21



Lista de siglas

AAM	Application Activity Model
AIM	Application Interpreted Model
ANSI	American National Standards Institute
AP	Application Protocol
ARM	Application Reference Model
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
DXF	Drawing Exchange File
FEA	Finite Element Analysis
ICAM	Integrated Computer-Aided Manufacturing
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
ISO	International Standardization Organization
PDDI	Product Data Definition Interface
PDES	Product Data Exchange Standard
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data



Sumario

1. Introdução	9
2. Intercâmbio de dados	10
2.1 Histórico	12
3. Padrões para troca de dados CAD/CAM	15
3.1 Formato IGES	15
3.2 Formato STEP	16
4. STEP	17
4.1 Objetivos do STEP	17
4.2 Arquitetura do STEP	18
4.3 Protocolos de Aplicação (APs)	19
4.3.1 Protocolo de Aplicação AP214	21
4.3.1.1 Benchmark	22
4.4 Comparação STEP x IGES	24
4.5 Objetivos	25
5. Metodologia	26
5.1 Método dos elementos finitos	26
5.2 Matriz de Rigidez	27
5.3 Procedimento	31
5.3.1 Conjunto analisado	31
5.3.2 Análise	32
5.3.3 Resultados	34
6. Conclusão	36
7. Referências	37
APÊNDICES	39
ANEXOS	45



1. Introdução

Com o advento da globalização e o conseqüente aumento da terceirização nos diversos setores da indústria na cadeia de desenvolvimento do produto, criou-se uma necessidade na qualidade de troca de informações entre as empresas parceiras. Assim é evidente a importância da eficiência do intercâmbio de informação entre os bancos de dados durante todo o desenvolvimento do produto para a engenharia simultânea.

Em relação aos desenhos técnicos, a conseqüência do grande crescimento tecnológico e computacional levou à substituição das folhas de desenhos, que se tornaram cada vez mais obsoletas, pelos desenhos representados em programas de CAD. Tendo em vista a enorme quantidade de softwares CAD/CAM que surgem no mercado a cada dia e a alta complexidade dos modelos (desenhos) gerados nesses programas, a troca de informação com alta qualidade torna-se cada vez mais difícil. Uma das soluções encontrada pela indústria nos dias atuais se resume na reconstrução completa dos modelos com dados perdidos. No entanto, esse processo eleva os custos do produto final já que o tempo de desenvolvimento é maior devido à necessidade de se remodelar o produto duas vezes. O custo desse retrabalho para a indústria automobilística nos Estados Unidos da América chega a US\$ 350 milhões/ano.

Assim, esse elevado custo no intercâmbio de dados entre os diversos ambientes de CAD/CAM/FEA levou as grandes empresas a elaborar uma norma internacional para troca de dados, a ISO 10303 STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data).

Portanto a norma STEP vem como um solucionador na área de transferência de dados CAD para as empresas desenvolverem seus produtos em curto prazo e com qualidade adequada. Com isso, essas empresas poderão oferecer produtos com alta flexibilidade, tempo de produção reduzido e *baixo custo*, podendo assim continuar competindo no mercado.



2. Intercâmbio de dados

O intercâmbio de dados durante o processo de desenvolvimento do produto nas empresas tem crescido a uma taxa elevada devido ao processo de globalização e da implantação cada vez maior da engenharia simultânea.

As empresas precisam oferecer produtos flexíveis, com alta qualidade, baixo custo e em tempo reduzido. Esta necessidade levou estas empresas a desenvolver novos métodos de transferência de dados com maior eficiência e qualidade.

O custo de correção dos dados transferidos devido ao tempo gasto no processo de reconstrução do modelo é preocupante. Somente nas empresas alemãs os custos com retrabalho devido à transferência de projetos entre diferentes plataformas de CAD atingiram, em 1993, o valor de US\$50 milhões por ano. O custo da troca de dados pode chegar a US\$ 25 por veículo, e isto equivaleria a US\$350 milhões por ano para a indústria automobilística dos Estados Unidos da América.

Existem, hoje, algumas incompatibilidades entre definições de entidades geométricas ou estruturas de dados utilizadas pelos diversos sistemas CAD/CAM/FEA. Os principais fatores que contribuem para essas incompatibilidades são:

- A complexidade da arquitetura computacional destes sistemas;
- As várias necessidades de utilização e aplicação pelas indústrias;
- As restrições de acesso a bancos de dados particulares;
- O ritmo acelerado das mudanças tecnológicas.

A troca de dados entre diferentes usuários de uma mesma informação torna-se fácil e direta quando todos utilizam os mesmos aplicativos e rodam as mesmas versões, porém existem inúmeras dificuldades com essa opção desde exigências funcionais até organizacionais.



Seria impraticável num mundo globalizado que parceiros ao redor do mundo utilizem o mesmo sistema e mesma versão. Mesmo havendo uma pressão das empresas maiores sobre os pequenos fornecedores para que utilizem o mesmo sistema, essa opção não se apresentou como sendo uma solução ótima.

Uma troca de dados ideal deve abranger a descrição completa do produto em seu banco de dados. Os principais tipos de dados ou informações que formam essa descrição são: dados geométricos (forma), dados não geométricos em geral, dados de projeto, dados de fabricação, e dados adicionais das atividades subsequentes do ciclo de vida do produto (Tabela 3.1).

TIPO DE DADO OU INFORMAÇÃO	EXEMPLOS
Geométrico (forma)	Valores das coordenadas de um ponto (geometria); Número de furos e disposição (topologia)
Não geométrico	Informações sobre a imagem (sombreamento, unidades de medida, resolução, etc.) Atributos ou parâmetros considerados como parte da informação geométrica (fonte, cor, nível ou camada, anotações de texto, etc.)
Features	Furo, flange, seção transversal de perfis (alma), cavidade, protusão, chanfro, arredondamento, etc.
Dados de projeto	A informação passada pelo projetista para propósitos de análise (material, propriedades de massa, volume, malhas de elementos finitos, etc.)
Dados de fabricação	Tipos e trajetórias de ferramentas, tolerâncias, planejamento do processo, lista de materiais, etc.

Tabela 2.1 – Tipos de dados compartilhados

Muitas metodologias são utilizadas pela indústria para corrigir os defeitos no intercâmbio de dados, no entanto a solução mais viável está tendendo para a padronização de um formato neutro.

Essa opção baseia-se no desenvolvimento de um formato neutro dos dados de forma que todos os sistemas possam utilizá-lo. Assim essa metodologia proporcionaria maior estabilidade e flexibilidade para uma instalação, além de que um formato neutro é mais rápido, eficiente e pode conter todos os dados do produto.



2.1 Histórico

Inicialmente, as alternativas de solução eram baseadas em programas tradutores que realizavam uma tradução de arquivos através de algoritmos específicos para cada formato. Estes programas convertiam os dados geométricos de um aplicativo específico para um formato de arquivo aceito pelo outro aplicativo. O inconveniente dessa solução é que cada aplicativo existente precisa de $(N-1)$ algoritmos tradutores, onde N é o número de programas aplicativos existentes, para converter os dados em formatos de arquivos de outros aplicativos.

Ou seja, o número total dos tradutores requeridos é dado por $N(N-1)$, onde N é o número de sistemas. Sendo o valor de um tradutor da ordem de US\$500.000 o custo para empresa em ter tradutores é inviável. Quando ainda se leva em consideração a atualização em um desses sistemas, os custos se tornarão ainda mais excessivos uma vez que $2(N-1)$ tradutores terão que ser atualizados e testados. Também será necessário suportar as novas versões dos tradutores

Dessa dificuldade, surgiram os formatos de arquivos neutros ou formatos de dados em arquivo, tais como IGES (Initial Graphics Exchange Specification), como forma de reduzir o número de algoritmos tradutores. A aplicação de formatos de arquivos neutros limita para dois o número de algoritmos tradutores necessários na troca de dados: um que escreve no formato genérico e outro que lê nesse formato. Nesta solução, a tradução é realizada primeiro para um formato de arquivo genérico e, depois, para o formato de arquivo do aplicativo final. Inicialmente, as traduções ficaram concentradas somente entre sistemas CAD. Em seguida, foi necessário também atender às traduções entre sistemas CAD, CAM e FEA, estendendo as capacidades do formato de arquivo neutro.

Uma comparação entre essas duas formas de troca de dados, tradução direta, e tradução por arquivo neutro, mostra que a tradução direta tende a ser mais fácil de implementar, todavia é mais custosa para manter. Já os arquivos neutros, exigem muito mais tempo para



desenvolver, e correm o risco de serem ambíguos ou não considerar certas características de alguns programas existentes.

Mesmo assim, o arquivo neutro é o método mais adequado, e conduz a uma possível padronização muito mais facilmente. A Tabela 3.2 resume as principais questões relacionadas com a aplicação dos dois tipos de solução.

Critério de comparação	Tradução direta	Arquivo neutro
Direito de uso formato	Arquivo privado	Arquivo publico
Numero de tradutores	$N(N-1)$	$2N$
Numero de traduções	Uma tradução	Duas traduções
Atualização do sistema	Todos os tradutores relacionados devem ser atualizados	Um tradutor de leitura e um de escrita devem ser implementados
Custo	Mais custosa	

Tabela 2.2 – Comparação entre tradução direta e arquivo neutro

Com os avanços da tecnologia de CAD e sua ampla aplicação no meio industrial, alguns programas comerciais de CAD se tornaram bastante utilizados. A grande utilização de arquivos oriundos de tais programas os popularizou, e atingiu um número tão considerável de usuários, que os fez um padrão não-oficial. O exemplo mais clássico disso é o formato de arquivo DXF (Drawing Exchange File) criado pela Autodesk. Diversos desenvolvedores de programas CAD/CAM, além de gerarem arquivos num formato próprio, adicionaram também saídas em formato DXF, como forma até de aceitação dos seus produtos pelo mercado.

No final da década de 70, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América reconheceu a necessidade de transferência de dados de modelos entre diferentes sistemas CAD/CAM. Em 1979, representantes do governo e da indústria se juntaram no programa ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) da Força Área Americana para desenvolver o método.



Em 1980 foi criado o IGES 1.0 graças à experiência da GE em banco de dados neutros e da Boeing em redes integradas de informações. Em 1981 o IGES (Initial Graphics Exchange Specification) virou padrão da ANSI.

Como o IGES não continha todas as informações para um ciclo total do produto, como dados de desenho e manufatura, esforços para se tentar suportar essas funções de CAD/CAM levou o programa ICAM a desenvolver o PDDI (Product Data Definition Interface), em 1984.

Também em 1984 foi iniciado um projeto que pretendia desenvolver um outro padrão PDES (Product Data Exchange Standard) que tentasse suportar as necessidades de manufatura e geometria. Nesse mesmo ano foi formado um comitê técnico TC184 (sistema de automação industrial) da ISO com o intuito de definir um padrão universal para as trocas de dados de sistema CAD/CAM/FEA. O padrão definido foi a ISO 10303 ou STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data).



3. Padrões para troca de dados CAD/CAM

3.1 Formato IGES

O IGES é uma proposta de especificação e sintaxe de formato de arquivo neutro. O modelo do arquivo IGES é baseado na definição de entidade, a qual é a fonte de informação básica. As entidades suportadas pelo IGES são de três tipos: entidades geométricas, entidades de anotação, e entidades de estrutura. Elas são resumidas no APÊNDICE A.

O arquivo IGES segue um formato de 80 caracteres por linha, chamado de registro. Cada registro possui um identificador entre as colunas 73-80, é limitado por ponto-e-vírgula, e subdividido em campos por vírgulas. O primeiro caractere do identificador de cada linha indica a seção do arquivo. Os demais números indicam a numeração das linhas que compõem a respectiva seção. Estes números são utilizados pelo IGES como ponteiros para referenciar as seções.

Ao todo, cinco seções compõem um arquivo de formato IGES. São elas:

- Seção Inicial (S): contém informações gerais que podem auxiliar o usuário com a operação de geração do arquivo IGES.

- Seção Global (G): contém 24 campos, onde são informados parâmetros necessários à geração, identificação e configuração do arquivo IGES.

- Seção Diretório (D): é gerada pelo pré-processador IGES e constitui-se de códigos que representam os tipos e sub-tipos de entidades dispostas em duas linhas de oito caracteres cada.

- Seção Dados de Parâmetro (P): constitui-se de dados específicos para cada entidade listada na seção anterior. Tais dados são: valores das coordenadas de pontos, texto de anotação, número de pontos de dados em spline, etc.



•Seção Finalização (T): marca o final do arquivo de dados, e contém o subtotal de registros verificados na transmissão de dados.

Um exemplo de arquivo IGES pode ser visto no ANEXO A (CHANG, T.-C. ; WYSK, R.A. ; WANG,H.-P.).

3.2 Formato STEP

O STEP é um projeto ambicioso e que foi iniciado como PDES (Product Data Exchange Standard) nos Estados Unidos e como STEP na Europa. Os dois grupos uniram forças e o PDES mudou seu nome.

O objetivo deste projeto é definir um formato de arquivo padrão que inclua todas as informações necessárias para descrever um produto desde a fase de projeto até a produção. Além disso, deve suportar múltiplos domínios de aplicação, ou seja, as engenharias mecânica, eletrônica e outros.



4. STEP

Todos os esforços para a padronização da troca de dados de produtos têm convergido para o STEP. STEP, Standard for the Exchange of Product Model Data, é um padrão da ISO (International Standard Organization) que descreve como representar o intercâmbio de informação digital do produto ao longo de seu ciclo de vida. Essa informação digital do produto deve obedecer às normas e conter informação suficiente para suportar o processo inteiro do produto: desenvolvimento, análise, manufatura, controle de qualidade, inspeção e suporte. Essas informações devem permanecer integradas e consistentes em cada etapa do processo.

O STEP permite que os dados técnicos sejam disponibilizados em um formato **neutro**, isto representa uma série de vantagens como a troca de dados entre diversos sistemas CAD e a possibilidade do compartilhamento das informações entre as empresas e seus respectivos setores. O uso de um formato comum reduz os custos da intercambialidade do produto e melhora a confiabilidade dos dados.

4.1 Objetivos do STEP

De acordo com (STEPTOOLS), os objetivos do STEP são:

- Armazenar todos os dados usados para a descrição do produto;
- Armazenar todo o ciclo de vida do produto;
- Armazenar formas diversas de utilização dos dados do produto;
- Compartilhar dados de forma precisa e não ambígua;
- Compartilhar dados entre aplicações específicas;



- Compartilhar dados sem restringir a forma como uma indústria possa utilizar esses dados. Assim, a indústria pode adotar processos otimizados e mais ajustados às necessidades específicas.

Portanto, para satisfazer os objetivos acima, o STEP deve conter a seguinte estrutura de informações:

- **Geometria:** dados de sólidos, dados de superfície, wireframe (arestas), dados de medição.
- **Especificações e Configurações:** estruturas de dados do produto, dados de gerenciamento.
- **Dados Tecnológicos:** dados de material, dados de tolerância, condições da superfície, dados de forma.
- **Manufatura:** dados NC, planejamento do processo.
- **Apresentação:** desenho, visualização.
- **Análise:** simulação.

4.2 Arquitetura do STEP

O STEP possui uma arquitetura de camadas em três níveis, conforme mostrado na figura 4.1. Essas camadas habilitam a visão múltipla de aplicação e implementação a serem definidas.

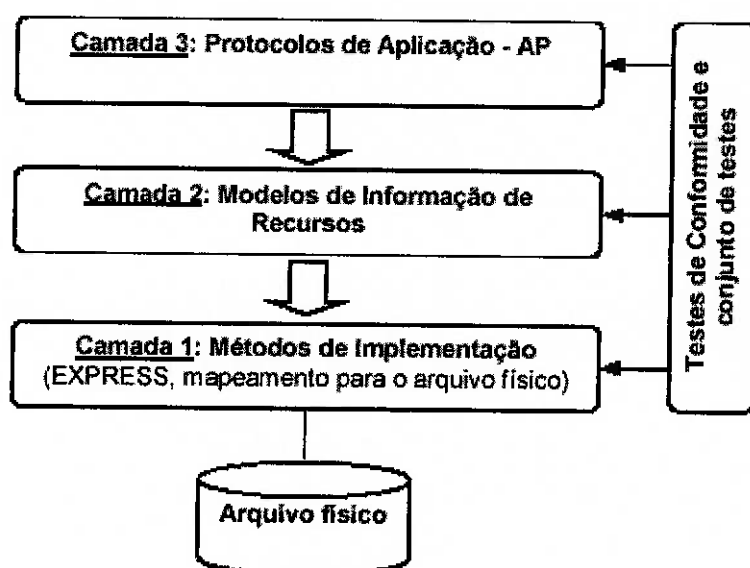


Figura 4.1. Camadas do STEP

A **primeira camada** compreende as técnicas para a implementação do STEP, tais como a forma que os modelos estão relacionados à linguagem EXPRESS, e desta para o arquivo físico.

A **segunda camada** compreende os modelos de informação de recursos, os quais fornecem a informação independente de contexto, tais como: a descrição geométrica e a topologia do produto.

A **terceira camada** compreende os protocolos de aplicação (*AP: Application Protocol*), os quais contêm a informação relacionada ao domínio particular da aplicação.

4.3 Protocolos de Aplicação (APs)

Os APs descrevem os subconjuntos restritos do padrão STEP, os quais garantem que a implementação de diferentes vendedores seja mais compatível. Para garantir adicionais



conformidades, o STEP inclui uma metodologia para testes de conformidade e um conjunto de testes gerais.

O conceito fundamental por trás do padrão STEP é exatamente a definição de protocolos de aplicação. Esses protocolos atuam como um mecanismo de especificação dos requerimentos da informação, e garantem a comunicação entre os sistemas de CAD, CAM e FEA. Um AP inclui os requerimentos de informação, o escopo e o contexto de uma aplicação, e especifica os recursos construtores do STEP para satisfazer estes requerimentos. Cada AP emprega três tipos de modelos:

- **AAM** (*Application Activity Model*): descreve as atividades e os processos que usam e produzem os dados dos produtos num contexto específico de aplicação;
- **ARM** (*Application Reference Model*): especifica estruturas conceituais e restrições usadas para descrever os requerimentos de informação de uma aplicação;
- **AIM** (*Application Interpreted Model*): é um conjunto de recursos integrados (**IR - Integrated Resources**) restritos, especializados e completos, usados para satisfazer os requerimentos de informação do ARM. O AIM é definido usando a linguagem EXPRESS ou EXPRESS-G.

O STEP está sendo implementado através do uso de uma série de APs. Os três modelos acima são dependentes do contexto da aplicação. O escopo de um AP é definido pelo tipo de produto, os estágios suportados dentro do ciclo de vida do produto, os tipos requeridos de dados do produto, os usos dos dados do produto, e as áreas que usam os dados do produto. Os APs do STEP, listados na tabela 4.1, abordam vários aspectos do projeto mecânico e da análise estrutural.



NÚMERO E NOME	DESCRIÇÃO
AP203 - Configuração Controlada de Projeto de Peças Mecânicas e Montagens 3D	Inclui vários modelos sólidos B-Rep, <i>wireframe</i> , e de superfície; além da configuração do produto (<i>estrutura de montagem, e versões do produto</i>).
AP209 - Projeto através de Análise de Estruturas Compostas e Metálicas	Inclui estruturas compostas, poliméricas, e metálicas, projeto geométrico, modelagem de elementos finitos incluindo malhas, controles de análise, e resultados de análises de tensões estáticas. Este AP contém entidades relacionadas a: geometria (<i>ponto, linha, curva, e superfície</i>), malhas de elementos finitos, cargas, condições de contorno, etc..
AP214 - Núcleos de Dados para Processo de Projeto Automotivo	Este AP suporta dados de produto para peças automotivas, como chapas metálicas da carroceria do carro, peças mecânicas do motor, e componentes de vidro. O AP214 inclui: controle de configuração, projeto geométrico, tolerâncias, propriedades de materiais, <i>features</i> de usinagem, chapas metálicas, e ferramentas.
AP224 - Definição de Peças Mecânicas para o Planejamento de Processo usando Feature de Usinagem	Especifica os dados necessários para fabricação de peças mecânicas simples. Contém definições de <i>features</i> de forma, peças usinadas, e processos de usinagem

Tabela 4.1 – Exemplos de APs do STEP

4.3.1 Protocolo de Aplicação AP214

O protocolo de aplicação AP214 é um dos maiores e mais importantes do STEP e foi publicado em fevereiro de 2001 pela ISO como a norma internacional ISO 10303-214.

Este protocolo possibilita a descrição de todos os dados do produto, ao longo de sua cadeia de desenvolvimento para a indústria automobilística. O AP214 descreve a estrutura de dados que são relevantes para representar as informações técnicas relacionadas com o processo de desenvolvimento mecânico. Ele pretende garantir que os dados possam ser trocados, compartilhados, estendidos e processados ao longo da cadeia de processo, isso implica em um cenário que envolve aproximadamente 1000 sistemas CAx somente na indústria automobilística na área de processamento de dados técnicos.

Além dos dados especificados no sistema CAD para representar a geometria, visualização gráfica e desenhos técnicos, outras informações podem ser representadas na



estrutura de dados baseados no AP 214, oferecendo um benefício estratégico tanto para os fabricantes como para os fornecedores, como mostra a Figura.5.2.

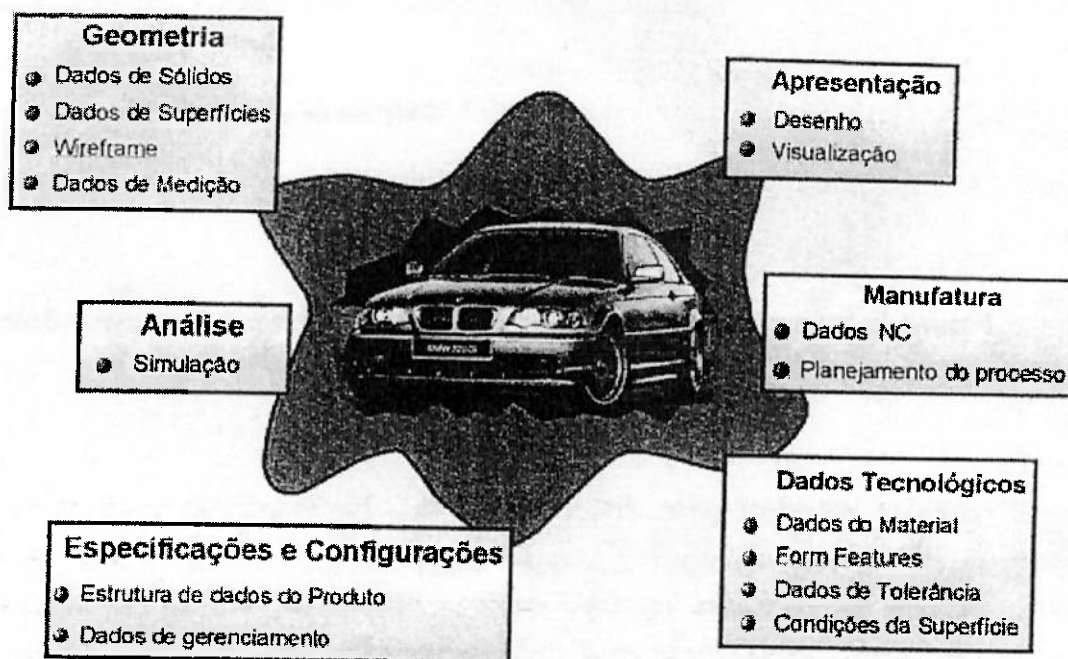


Figura 4.2. Escopo do Protocolo de Aplicação AP214

As vantagens são bem claras, pois tomando o cenário alemão como exemplo e considerando que somente entre os fabricantes de automóveis e seus aproximadamente 900 fornecedores existem cerca de 110 tipos diferentes de CAD/CAM.

4.3.1.1 Benchmark

Para garantir a melhora continua do STEP AP 214 vêm sendo realizados anualmente vários testes, dentre eles, o Benchmark através do esforço conjunto entre organizações que avaliam as normas STEP, tais como a Pro-STEP AG, a PDES Inc., fornecedores de sistema CAD e usuários de sistema CAD/CAM.



O Benchmark, que vem sendo realizado desde 1996, tem como metodologia de teste selecionar um conjunto de modelos de produto e critérios que refletem as necessidades encontradas na prática, por exemplo, no 7º Benchmark foi utilizado o modelo de uma bomba da Volkswagen.

Após a definição do modelo, para que haja um mesmo critério de avaliação, o modelo é então construído em todos os sistemas CAD participantes do Benchmark e exportado para o formato STEP AP 214.

Se a configuração do sistema permitir, os modelos são exportados para o STEP e importados no sistema receptor com diferentes configurações, por exemplo: diferentes valores de tolerância ou definição da geometria em analítica.

Os resultados são então avaliados seguindo vários critérios, sendo os principais dados abaixo:

- Geometria: no teste de geometria é avaliado o volume ou a área da superfície do modelo. É considerada uma troca sem problemas, aquela em que o volume ou área da superfície do modelo resultante possa ser calculado e não desvie mais do que 1% em comparação com o original.
- Conjunto Montado: três variáveis são avaliadas para testar o conjunto montado. São elas: posicionamento dos componentes no espaço geométrico; nome dos componentes e estrutura do conjunto. É considerado sem problema aquela que não apresenta erro em nenhum dos critérios.

Um dos resultados obtidos no 7º Benchmark pode ser vistos na Figura 4.3.

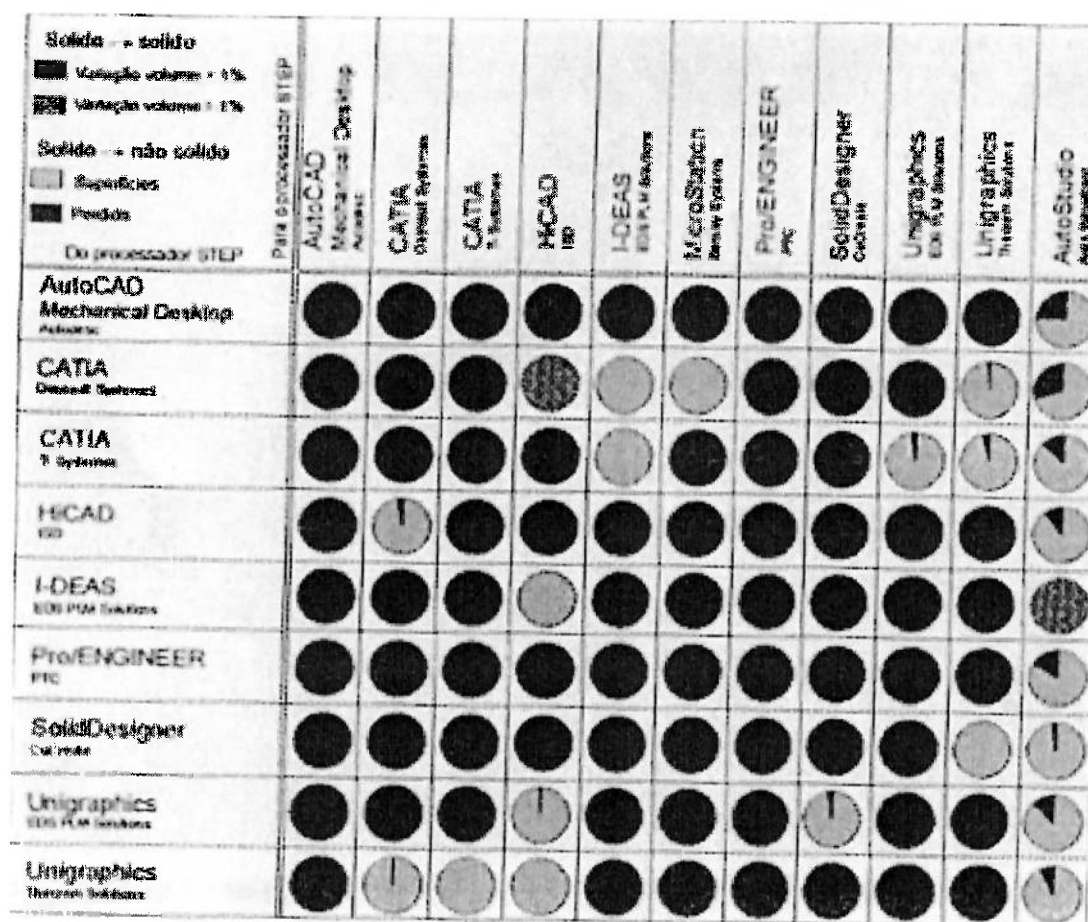


Figura 4.3. Resultado de transferência do 7º Benchmark

4.4 Comparação STEP x IGES

O padrão STEP melhora várias deficiências apresentadas pelo IGES. A seguir discute-se sobre essas melhorias:

- O STEP usa um modelo formal para a troca de dados, o qual é descrito usando um modelo de modelagem de informação chamado EXPRESS, desenvolvido especialmente para o STEP. O modelo EXPRESS é legível tanto pelo usuário como processável pelo computador. No STEP, os dados são descritos pela linguagem EXPRESS, a qual então mapeia o modelo para um arquivo físico. Neste caso, o



arquivo físico fica livre de definir como cada entidade em particular deve ser representada, que é o que acontece com o padrão IGES.

- O STEP possui uma arquitetura de camadas em três níveis. Essas camadas habilitam a visão múltipla de aplicação e implementação a serem definidas.
- Os AP.s descrevem os subconjuntos restritos do padrão STEP, os quais garantem que a implementação de diferentes vendedores seja mais compatível que as implementações do IGES. Para garantir adicionais conformidades, o STEP inclui uma metodologia para testes de conformidade e um conjunto de testes gerais.

4.5 Objetivos

A perda de informações na indústria por causa da transferência de arquivos entre diferentes sistemas é fonte de grandes prejuízos nos projetos. O presente trabalho propõe-se a testar a viabilidade da criação de uma métrica para quantificar esse prejuízo, através de um estudo de caso, o que representaria um dado importante para a indústria.

Quantificando a perda ocasionada pela utilização de formatos de arquivo proprietários ou de formatos neutros como o IGES na transferência de informações entre sistemas CAD/CAM/FEA, pode-se avaliar a economia que seria feita no caso da utilização de arquivos neutros no formato STEP.



5. Metodologia

A métrica será definida a partir das propriedades mecânicas dos produtos. Esta métrica será testada em um caso específico para verificação da viabilidade desse procedimento em casos reais.

5.1 Método dos elementos finitos

Uma grande variedade de problemas da dinâmica são governadas pela seguinte equação diferencial matricial (BATHE, 1996):

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{a}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{a}} + \mathbf{K}\mathbf{a} + \mathbf{f} = 0$$

com

$$\dot{\mathbf{a}} \equiv \frac{d}{dt} \mathbf{a}; \quad \ddot{\mathbf{a}} = \frac{d^2}{dt^2} \mathbf{a}$$

Na qual $\mathbf{K}$ e $\mathbf{f}$ são as matrizes de rigidez e força obtidas pela adição de coeficientes de rigidez e dos elementos de forças devido aos carregamentos especificados, tensões iniciais, etc.

As matrizes $\mathbf{C}$ e $\mathbf{M}$ são montadas pela regra das submatrizes dada por:

$$\mathbf{C}_{ij}^e = \int_{V^e} \mathbf{N}^T \boldsymbol{\mu} \mathbf{N} dV$$

$$\mathbf{M}_{ij}^e = \int_{V^e} \mathbf{N}^T \rho \mathbf{N} dV$$

Como podemos observar $\mathbf{C}$ é uma combinação linear de $\mathbf{M}$ e $\mathbf{K}$, obtida pelo Método de Rayleigh. Portanto nos concentramos na obtenção de $\mathbf{M}$ e $\mathbf{K}$.

$$\mathbf{C} = \alpha \mathbf{M} + \beta \mathbf{K}.$$



5.2 Matriz de Rigidez

O método de Galerkin leva a um sistema de equações lineares. Para ver isso nós necessitamos estruturas a definição de $\mathcal{U}^h$. $\mathcal{U}^h$ consiste de todas as combinações lineares das funções denotadas por $N_A : \bar{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}$ aonde $A = 1, 2, \dots, n$. Disso temos que se $w^h \in \mathcal{U}^h$, então existem constantes $c_A, A = 1, 2, \dots, n$ tais que:

$$\begin{aligned} w^h &= \sum_{A=1}^n c_A N_A \\ &= c_1 N_1 + c_2 N_2 + \dots + c_n N_n \end{aligned}$$

Os N_A 's são funções de forma, bases e interpolação. Nós necessitamos que N_A satisfaça:

$$N_A(1) = 0, \quad A = 1, 2, \dots, n$$

E segue que $w^h(1) = 0$ como é necessário. $\mathcal{U}^h$, deve ter dimensão n por razões óbvias.

Para definir os membros de $\mathcal{S}^h$ necessitamos especificar φ^h . Para finalizar, introduzimos outra função de forma $N_{n+1} : \bar{\Omega} \rightarrow \mathbb{R}$, que tem a propriedade $N_{n+1}(1) = 1$. (Note que $N_{n+1} \notin \mathcal{U}^h$).

Então φ^h é dado por:

$$\varphi^h = q N_{n+1}$$

E, portanto:

$$\varphi^h(1) = q$$



Com essas definições, um típico $u^h \in \mathcal{S}^h$ pode ser escrito com sendo:

$$\begin{aligned} u^h &= v^h + q^h \\ &= \sum_{A=1}^n d_A N_A + q N_{n+1} \end{aligned}$$

Aonde os d_A 's são constantes e das quais fica aparente que $u^h(1) = q$.

Substituindo nas equações de Galerkin temos:

$$\begin{aligned} a\left(\sum_{A=1}^n c_A N_A, \sum_{B=1}^n d_B N_B\right) &= \left(\sum_{A=1}^n c_A N_A, \ell\right) + \left[\sum_{A=1}^n c_A N_A(0)\right]h \\ &- a\left(\sum_{A=1}^n c_A N_A, q N_{n+1}\right) \end{aligned}$$

Usando a bilinearidade de $a(\cdot, \cdot)$ e $(\cdot, \cdot)$ a equação fica:

$$0 = \sum_{A=1}^n c_A G_A$$

Aonde

$$G_A = \sum_{B=1}^n a(N_A, N_B) d_B - (N_A, \ell) - N_A(0)h + a(N_A, N_{n+1})q$$

Agora a equação de Galerkin é válida para todo $w^h \in \mathcal{U}^h$. Ou seja, para todo c_A 's, $A = 1, 2, \dots, n$. Uma vez que os c_A 's são arbitrários é necessário que cada G_A , $A = 1, 2, \dots, n$ deve ser igual a zero chegando a:

$$\sum_{B=1}^n a(N_A, N_B) d_B = (N_A, \ell) + N_A(0)h - a(N_A, N_{n+1})q$$



Note que temos todos os dados exceto pelos d_B 's. Portanto essa equação consiste de um sistema de n equações com n incógnitas, que pode ser escrita de uma forma mais concisa da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} K_{AB} &= a(N_A, N_B) \\ F_A &= (N_A, \ell) + N_A(0)h - a(N_A, N_{n+1})q \end{aligned}$$

Então temos:

$$\sum_{B=1}^n K_{AB} d_B = F_A, \quad A = 1, 2, \dots, n$$

Adotando a notação matricial temos:

$$K = [K_{AB}] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \cdots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \cdots & K_{nn} \end{bmatrix}$$

$$F = \{F_A\} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{Bmatrix}$$

$$d = \{d_B\} = \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix}$$

De equações anteriores:

$$Kd = F$$



As seguintes terminologias são comumente aplicadas, especialmente quando o problema em questão é um sistema mecânico:

K = stiffness matrix

F = force vector

d = displacement vector

Nesse ponto declaramos a matriz equivalente (M), do problema de Galerkin.

Dados a matriz de coeficientes K e o vetor F , encontramos d tal que:

$$Kd = F$$

A solução de (M) é claro, somente $d = K^{-1} F$ (assumindo que a inversa de K , K^{-1} existe).

Uma vez que d é conhecido, a solução de (G) pode ser obtida em qualquer ponto $x \in \bar{\Omega}$:

$$u^h(x) = \sum_{A=1}^n d_A N_A(x) + q N_{n+1}(x)$$

Dessa maneira, derivadas de u^h , se necessárias, podem ser obtidas por diferenciação termo a termo. Deve ser enfatizado que a solução de (G) é uma solução aproximada de (W).

Conseqüentemente, a equação diferencial e a solução de contorno natural são apenas satisfeitas aproximadamente. A qualidade da aproximação depende da escolha dos N_A 's e do numero n .

Observações:

1. A matriz K é simétrica. Isso devido à simetria de $a(\cdot, \cdot)$ e do uso do método de Galerkin

$$\begin{aligned} K_{AB} &= a(N_A, N_B) \\ &= a(N_B, N_A) \\ &= K_{BA} \end{aligned}$$

Em notação matricial

$$K = K^T$$



A simetria de K tem uma importância computacional muito grande.

2. Às vezes é conveniente escrever:

$$u^h(x) = \sum_{A=1}^{n+1} N_A(x) d_A$$

onde

$$d_{n+1} = q.$$

5.3 Procedimento

A matriz de rigidez é, portanto, uma propriedade mecânica que pode ser considerada um parâmetro para a criação de uma métrica permitindo avaliar as perdas evitadas quando da utilização de arquivos no formato STEP.

No estudo de Homero Marak essa métrica é utilizada para avaliar as perdas ocorridas em uma peça simples quando transferida de um programa CAD (ProEngineer) a um sistema FEA (Abaqus) através de um arquivo neutro.

Mas é necessário validar a utilização dessa métrica em casos reais. Para fazê-lo, serão avaliados os desvios quadráticos entre os valores do invariante de n -ésima ordem da matriz de rigidez de um conjunto de peças de acordo com o formato de arquivo neutro utilizado para a transferência.

5.3.1 Conjunto analisado

O conjunto a ser utilizado para os testes será o suporte de um motor de carro, um desenho padrão do sistema FEA ALGOR v12, presente no tutorial do ALGOR v19 (esquema representado na figura 5.1). Este conjunto de peças permite estudar a viabilidade da métrica



em uma situação real, com cargas reais sendo aplicadas ao conjunto. Este desenho será salvo em diferentes formatos de arquivo neutro (DXF, IGES, STEP) utilizando-se o sistema CAD Alibre Design v9 e analisado no sistema FEA ALGOR v19.

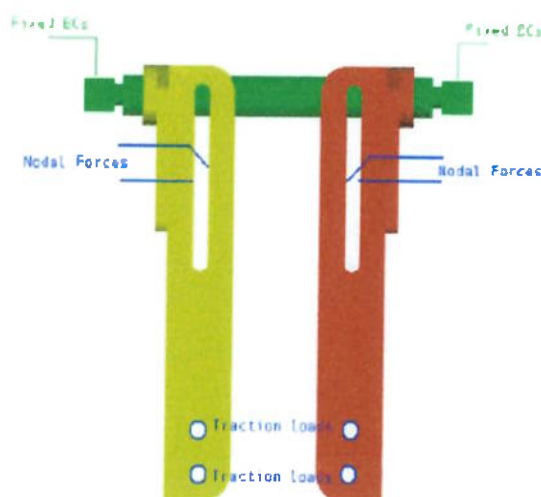


Figura 5.1 – Esquema do conjunto utilizado nos testes

Este conjunto é desenhado para sustentar um motor de 15 libras. É constituído por um eixo e dois suportes ligados a ele. Os suportes são feitos de alumínio 6061 - T6 e o eixo é constituído de aço ASTM - A36. O motor é preso ao suporte através de parafusos. O conjunto sofre uma força de tração devido ao funcionamento do motor.

5.3.2 Análise

Utilizando o programa Alibre Design v9, o desenho pode ser salvo em diferentes formatos (DXF, IGES e STEP).

No ALGOR v19, o conjunto será analisado através de uma análise de tensão dinâmica não-linear com a aplicação de cargas de tração aplicadas onde o motor é fixado ao conjunto através de furos nos suportes, que terão componentes nas direções X e Y, devido às tensões



causadas pelo motor. Forças nodais serão aplicadas onde o motor é parafusado através de rasgos nos suportes. As extremidades do eixo serão engastadas.

Os diferentes formatos de desenho criados no Alibre Design são abertos no ALGOR v19 e analisados. Inicialmente, uma malha é criada. Para o arquivo no formato IGES, um arquivo correspondente, com a malha já criada, existe na base de dados de modelos do programa, armazenado com o formato *ach*.

Uma vez a malha criada, é definido o tipo de análise a ser realizado, no caso, uma análise de tensão dinâmica não-linear. Uma curva de carga aplicada é criada, seguindo os dados existentes no tutorial do programa.

Em seguida, o material dos componentes do conjunto é definido. Alumínio 6061-T6 para os suportes e aço ASTM-A36 para o eixo. O passo seguinte é a aplicação das cargas. Selecionando as superfícies internas dos quatro furos existentes nos suportes (dois furos em cada), pode-se criar uma carga de tração nessas superfícies de intensidade -154 libras-força na direção X e 130 libras-força na direção Y. A seguir, forças nodais (de magnitude 9,4 libras-força na direção Y) são aplicadas em quatro nós nos rasgos existentes nos suportes.

Resta apenas a aplicação das condições de contorno, através da fixação das extremidades do eixo. Selecionando as superfícies internas dos furos existentes nessas extremidades, podemos engastá-las. Terminada a aplicação das tensões e definidas as condições de contorno, restam apenas a validação do modelo e a execução da simulação, que dá, entre seus resultados, a matriz de rigidez.

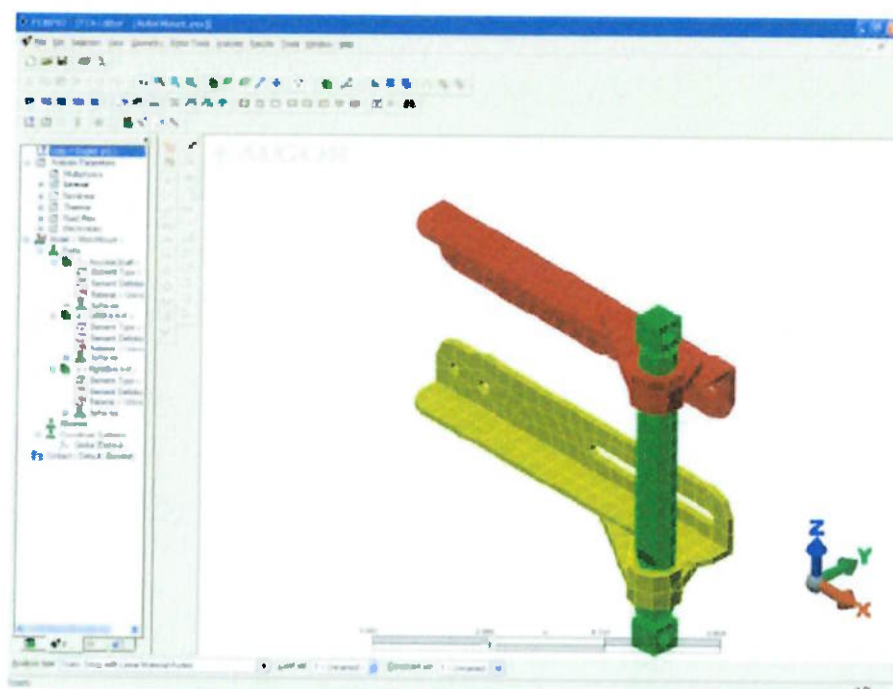


Figura 5.2 Tela inicial do ALGOR v19 com o conjunto

5.3.3 Resultados

A matriz de rigidez, no caso do ALGOR, é dada, na saída, como uma matriz triângulo superior, já que a matriz de rigidez é simétrica. Mas a maneira de apresentação dessa matriz é específica. Para o caso específico do exemplo utilizado, para um arquivo em formato IGES com a malhagem produzida pelo sistema ALGOR, a matriz de saída é possui uma dimensão de 3987 linhas por 3987 colunas, com 82291 valores não-nulos fora das diagonais.

A saída do programa é dada em um arquivo de texto (ver APÊNDICE B), onde as 3987 primeiras linhas possuem, como informação, o número da linha, o valor do número presente na intersecção da diagonal com essa linha, e quantos elementos não-nulos essa linha possui. Em seguida, seguem-se 82291 linhas que representam todos os valores não-nulos presentes na matriz, fora da diagonal. Em cada uma dessas linhas, está o valor e a coluna onde este valor está localizado. A partir destas informações, utilizando-se o programa Matlab R12, pode-se



reconstituir a matriz de rigidez e calcular seu invariante de n-ésima ordem, ou seja, seu determinante.

Devido ao formato do arquivo de saída, os dados foram inicialmente transportados para planilhas de trabalho do Excel. Foi necessária a utilização de dois arquivos de Excel para poder armazenar todos os dados de saída. Em seguida, esses dados são transportados para matrizes no Matlab e reordenados de maneira a completar a matriz 3987X3987. Os valores restantes não-preenchidos são completados com zeros. Assim, pode-se calcular o valor do invariante da matriz de rigidez.

No programa Matlab R12, a partir da matriz de rigidez, pode-se calcular seu n-ésimo invariante através de um simples comando. O problema imposto pelo exemplo utilizado é a complexidade do conjunto utilizado nos testes. A utilização de um conjunto de três peças resultou na criação, para o exemplo indicado anteriormente, de uma matriz global de inércia de dimensões 3987 por 3987. O cálculo do determinante de uma matriz de tais proporções é lento, mesmo utilizando-se um programa baseado em cálculo matricial como o Matlab.

Além disso, o valor resultante do cálculo é considerado, pelo programa, como infinito, por ser muito grande para ser armazenado. Através de manipulações matemáticas nos elementos da matriz, o resultado encontrado para o determinante da matriz de rigidez foi de $2,3126 \times 10^{25847}$.

Para o arquivo no formato STEP, não foi possível alcançar uma convergência para um valor que fosse diferente de infinito ou de zero. Isso pode ter acontecido por algumas falhas na conversão de formatos ou então alguma falha na constituição da malha para o método de elementos finitos, já que a malha do arquivo IGES já era pré-definida pelo sistema ALGOR.



6. Conclusão

Muitas perdas são causadas anualmente na indústria mecânica por erros de transferência de dados entre sistemas CAD/CAM/FEA.

Essas perdas podem ser minimizadas através da utilização de um formato de arquivo neutro normalizado, que é o STEP. Essas perdas são avaliadas, atualmente, de maneira qualitativa. Mas isso pode ser feito de maneira quantitativa, analisando-se o desvio nos valores dos invariantes da matriz de rigidez, no caso de utilização de outros formatos.

Mas a utilização de um arquivo neutro, mesmo que normalizado, não garante a integridade da transferência de informações. Diversas fontes de erro podem interferir no processo de transferência, levando ao aparecimento de inconsistências no intercâmbio de informações entre os diferentes sistemas CAD, CAM e FEA.

Estas inconsistências, mesmo que em pequeno número, existem e devem fazer partes de estudos mais aprofundados, que podem ser desenvolvidos em várias frentes, através de testes de transferência de diversos conjuntos de peças a partir de diferentes sistemas CAD/CAM para diferentes sistemas FEA, através dos arquivos neutros DXF, IGES e STEP. Estes testes poderiam fornecer pistas para a compreensão das fontes de erro e para uma avaliação ainda mais precisa da perda de informações. Além disso, estes dados permitiriam melhorias na definição dos padrões de arquivos neutros e uma conseqüente diminuição da perda de informações e do surgimento de inconsistências no intercâmbio de informações ao longo do projeto de um produto.



7. Referências

ASME Y14.41. **Digital Product Definition Data Practices**, ASME, New York, 2003

BATHE, K.-J.. **Finite Element Procedure**, Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, c1996

CHANG, T.C.; WYSK, R.A.; WANG, H.P.. **Computer Aided Manufacturing**, Prentice Hall International, Second edition, 1997.

LOFFREDO, D..**Fundamentals to STEP Implementation**,

URL: <http://www.steptools.com/library/fundimpl.pdf>, último acesso: 03/2006

MARAK. H. **Padrões de troca de dados CAD/CAM/FEA**, Trabalho de Formatura da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

NASA Home Page, **STEP for System Engineers**. URL: <http://step.nasa.gov/> . ultimo acesso: 03/2006

NIST Home Page. **Welcome to ISO TC184/SC4 Developers of International Industrial Data Standards**. URL: <http://www.nist.gov/sc4> , último acesso: 04/2006.

PDES INC. Home Page. **STEP Technology**. URL: <http://pdesinc.aticorp.org> , ultimo acesso: 03/2006



SAE BRASIL. **Engenharia Automotiva**, revista SAE BRASIL n°11, ano3.

SANTOS, R.V.M.. **Padrões de troca de dados CAD/CAM**, Trabalho de Formatura da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

SCHUTZER, I.K.; HENRIQUES, J.. **Avaliação do Sistemas CAD UNIGRAPHICS Para a Melhora da Eficiência na Troca de Dados Através da STEP AP214**. URL: http://www.unimep.br/feau/scpm/Artigo_EME_2003_Joselito.pdf, ultimo acesso: 04/2006

SCHUTZER, I.K.; MOURA, A.A.. **Desenvolvimento Integrado do Produto Utilizando as Normas STEP – ISO10303**. URL: <http://www.propg.ufscar.br/publica/4jc/posgrad/resumos/0279-moura.htm> ultimo acesso: 04/2006

STEPTOOLS Home Page, **ISO STEP Standard**, URL: http://www.steptools.com/library/standard/iso_step_standards.html ultimo acesso: 04/2006

STEPTOOLS Home Page, **Introduction to STEP** , URL http://www.steptools.com/library/standard/introduction_to_step.html ultimo acesso: 03/2006

SUGAWARA, E.; BRAGA, L.J.. **Transferência de Dados em Sistemas CAD/CAM**, Trabalho de Formatura da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.



APÊNDICES



APÊNDICE A – Entidades suportadas pelo formato IGES

NÚMERO ID	NOME
ENTIDADES GEOMÉTRICAS	
100	Arco circular
102	Curva composta
104	Arco cônico
106	Dado para cópia
108	Plano
110	Linha
112	Curva spline paramétrica
114	Superfície spline paramétrica
116	Ponto
118	Superfície "ruled"
120	Superfície de revolução
122	Cilindro tabulado
124	Matriz de transformação
125	"Flash"
126	Curva racional b-spline
128	Superfície racional b-spline
130	Curva "offset"
132	Ponto de conexão
134	Nodo
136	Elemento finito
138	Deslocamento nodal e rotação
140	Superfície "offset"
142	Curva sobre uma superfície paramétrica
144	Superfície paramétrica "trimmed"
ENTIDADES DE ANOTAÇÃO	
202	Dimensão angular
206	Diâmetro angular
208	Nota sinalizada
210	Rótulo geral
212	Nota geral
214	"Leader" (seta)
216	Dimensão linear
218	Dimensão ordinária
220	Dimensão pontual
222	Dimensão radial
228	Símbolo geral
230	Área seccionada
ENTIDADES DE ESTRUTURAS	
302	Definição de associatividade
304	Definição da fonte da linha
306	Definição de macro
308	Definição de sub-figura
310	Definição da fonte do texto
312	Modelo de exibição do texto
314	Definição de cor



APÊNDICE B – Saída do ALGOR - Matriz de rigidez (formato IGES)

neq, nOFFD, mmax, NF, NV

3987	82291	0	5	50	
3987	82291	(No. of Equations, No. of nonzero offdiagonals)			
irow,	DIAG_K(irow),	LUMPED_MASS(irow),	NZ_ROW(irow)		
1	6.1765813141790796D+06	2.7932219441524250D-06		38	
2	1.1126126114383824D+07	2.7932219441524250D-06		37	
3	9.2168603471612874D+06	2.7932219441524250D-06		36	
4	7.5840602188253039D+06	2.2956212767170881D-06		41	
5	9.9861963936742041D+06	2.2956212767170881D-06		40	
6	1.2309256236728080D+07	2.2956212767170881D-06		39	
7	3.1319855635438906D+06	5.0613503161641128D-06		35	
8	5.3165351517063221D+06	5.0613503161641128D-06		34	
9	4.6419867497852035D+06	5.0613503161641128D-06		33	
10	3.1320297510656267D+06	5.0631676473853374D-06		35	
11	5.3171348847899418D+06	5.0631676473853374D-06		34	
12	4.6433284612642666D+06	5.0631676473853374D-06		33	
13	3.1318112133897557D+06	5.0615646376829359D-06		35	
14	5.3165930235812124D+06	5.0615646376829359D-06		34	
15	4.6422074374473747D+06	5.0615646376829359D-06		33	
16	3.1318168188514649D+06	5.0617941025652018D-06		35	
17	5.3166687744606808D+06	5.0617941025652018D-06		34	
18	4.6423768404646581D+06	5.0617941025652018D-06		33	
19	7.5783148714828305D+06	2.2951266838591389D-06		41	
20	9.9756159156733844D+06	2.2951266838591389D-06		40	
21	1.2281961355788538D+07	2.2951266838591389D-06		39	
22	6.1952155543606188D+06	4.1171707225739330D-06		38	
23	1.1168499369588219D+07	4.1171707225739330D-06		37	
24	9.2367991995163634D+06	4.1171707225739330D-06		36	
25	1.2426485282377513D+07	4.7069790023142779D-06		44	
26	7.6038858692604192D+06	4.7069790023142779D-06		43	
27	1.1285042775732236D+07	4.7069790023142779D-06		42	



28	1.2437102645306392D+07	3.2699351583751607D-06	38
29	8.8224387258834485D+06	3.2699351583751607D-06	37
30	1.3693928584458966D+07	3.2699351583751607D-06	36
31	2.1166037867704693D+07	5.6329928155457374D-06	47
32	2.0484184690458488D+07	5.6329928155457374D-06	46
33	1.3609784845544755D+07	5.6329928155457374D-06	45
34	1.1056651508041553D+07	2.8254880006483351D-06	35

(...)

3968	3.6602253110989869D+07	6.6243227729973699D-07	1
3969	3.6380060944096282D+07	6.6243227729973699D-07	0
3970	1.1771067423819177D+07	2.0714433393615816D-07	2
3971	2.3653465999247704D+07	2.0714433393615816D-07	1
3972	2.1136596548286736D+07	2.0714433393615816D-07	0
3973	1.3056442284051545D+07	3.0999017508409638D-07	2
3974	2.1659427275564443D+07	3.0999017508409638D-07	1
3975	2.5016939948244102D+07	3.0999017508409638D-07	0
3976	1.4823955881694636D+08	2.1226694276962269D-07	2
3977	1.1026914177364165D+08	2.1226694276962269D-07	1
3978	1.0748958744369699D+08	2.1226694276962269D-07	0
3979	3.2163542857149418D+07	4.1637505997114556D-07	2
3980	5.3610636839034677D+07	4.1637505997114556D-07	1
3981	1.9438123042574555D+07	4.1637505997114556D-07	0
3982	1.3739343637400478D+07	9.0599884387096123D-07	2
3983	1.6592805798014611D+07	9.0599884387096123D-07	1
3984	1.7581857082425192D+07	9.0599884387096123D-07	0
3985	2.0232242615573663D+07	1.7949976878268849D-06	2
3986	2.2620578307770055D+07	1.7949976878268849D-06	1
3987	1.9462267382126037D+07	1.7949976878268849D-06	0

index, OFFD_K(index), NZ_COL(index)

1	-3.7665512232342735D+02	2
2	-2.7448693957758078D+05	3
3	-5.1343311319518462D+05	55



4 -2.7964810495759593D+01	56
5 1.0461429152050618D+06	57
6 5.0072689185570161D+04	64
7 -8.0148713362813665D+04	65
8 1.2382651102319272D+04	66
9 4.9874872660197201D+04	67
10 8.0191362292989390D+04	68
11 1.2330973407374637D+04	69
12 1.0574288779083928D+06	109
13 -1.0283306957501918D+02	110
14 -7.3663341660359432D+05	111
15 -1.2641420545287097D+06	124
16 -3.6893026289664413D+05	125
17 -5.5374565794626612D+05	126
18 -5.5603795785180316D+05	265
19 4.8999345612997550D+05	266
20 4.6272777546777681D+05	267
21 -2.9112177535018651D+05	286
22 -2.2840849384840112D+01	287
23 -7.2488631437800697D+05	288
24 -5.5556991250164527D+05	298
25 -4.8976331575585844D+05	299
26 4.6251200263767061D+05	300
27 -1.2649141349983970D+06	331
28 3.6942505641307641D+05	332
29 -5.5379130309073045D+05	333
30 -1.9633667481472919D+04	403
31 -3.7926885145178525D+05	404
32 3.8808401514272024D+04	405
33 -1.9324131231309861D+04	619
34 3.7921556879534182D+05	620
35 3.9055767525579700D+04	621
36 -2.8497810067945309D+06	3232



37 -1.8400631250246079D+02	3233
38 7.6958314473612374D+05	3234
39 1.3126304807773558D+03	3
40 -2.7964810495614074D+01	55
41 -6.4550670504583430D+05	56
42 4.6753142792731524D+01	57
43 -1.8010267518257230D+05	64
44 -5.6097237336925068D+05	65
45 -4.0718477936806728D+05	66
46 1.8014532411274803D+05	67
47 -5.6119072591787623D+05	68

(...)

82271 -1.9436161203330550D+07	3968
82272 6.1398075377883073D+06	3969
82273 -4.2832258238191688D+06	3969
82274 1.6505574134515258D+06	3971
82275 -2.2873358074322349D+05	3972
82276 5.8824479318046067D+06	3972
82277 1.1985077415949006D+05	3974
82278 4.9145725777596366D+06	3975
82279 -1.2470408659750083D+06	3975
82280 3.9098336676874250D+07	3977
82281 -3.6555402745195597D+07	3978
82282 4.5744009755585510D+06	3978
82283 6.8389824928857116D+06	3980
82284 -5.0820817788040475D+05	3981
82285 4.2937143655771632D+06	3981
82286 4.4092526508333553D+06	3983
82287 -1.3858380653210855D+06	3984
82288 3.8783075677433205D+06	3984
82289 -1.9382632197907241D+06	3986
82290 -3.2078077921798406D+06	3987
82291 7.7511613732349407D+05	3987



ANEXOS



ANEXO B – Exemplo de arquivo STEP

```
ISO-10303-21;
HEADER;
/* Exchange file generated using ST-DEVELOPER 1.6 */
FILE DESCRIPTION('','2;1');
FILE_NAME('exemplo_step203','2000-04-19T10:03:22-03:00',(
'Raimundo Ricardo Matos da Cunha'),('EMC - CTC - UFSC'),
'ST-DEVELOPER 1.6','MicroStation/J Version 07.01.00.62',
'Exemplo para o texto do estudo dirigido');
FILE_SCHEMA (('CONFIG_CONTROL_DESIGN'));
ENDSEC;
DATA;
#10=MANIFOLD_SURFACE_SHAPE_REPRESENTATION(
'Manifold Surface Shape Representation',(#11),#30);
#11=SHELL_BASED_SURFACE_MODEL('',( #12));
#12=OPEN_SHELL('',( #13));
#13=ADVANCED_FACE('',( #19),#14,.T.);
#14=PLANE('',( #15);
#15=AXIS2_PLACEMENT_3D('',( #16,#17,#18);
#16=CARTESIAN_POINT('',(595.82816,-136.91578,0.));
#17=DIRECTION('',(0.,0.,1.));
#18=DIRECTION('',(1.,0.,0.));
#19=FACE_BOUND('',( #20,.T.);
#20=EDGE_LOOP('',( #21));
#21=ORIENTED_EDGE('',*,*,#22,.T.);
#22=EDGE_CURVE('',( #23,#23,#25,.T.);
#23=VERTEX_POINT('',( #24);
#24=CARTESIAN_POINT('',(637.72849572449,-109.632784083587,0.));
#25=CIRCLE('',( #26,50.);
#26=AXIS2_PLACEMENT_3D('',( #27,#28,#29);
#27=CARTESIAN_POINT('',(595.82816,-136.91578,0.));
#28=DIRECTION('',(0.,0.,1.));
#29=DIRECTION('',(0.838006714489801,0.545659918328265,0.));
#30=(
GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(3)
GLOBAL_UNCERTAINTY_ASSIGNED_CONTEXT((#37))
GLOBAL_UNIT_ASSIGNED_CONTEXT((#36,#31,#35))
REPRESENTATION_CONTEXT('Based on DGN file units settings',' ')
);
#31=(
CONVERSION_BASED_UNIT('DEGREE',#33)
NAMED_UNIT(#32)
PLANE_ANGLE_UNIT()
);
#32=DIMENSIONAL_EXPONENTS(0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.);
#33=PLANE_ANGLE_MEASURE_WITH_UNIT(PLANE_ANGLE_MEASURE(0.0174532925199433),
#34);
#34=(
NAMED_UNIT(*)
PLANE_ANGLE_UNIT()
SI_UNIT($,.RADIAN.)
);
#35=(
NAMED_UNIT(*)
SI_UNIT($,.STERADIAN.)
SOLID_ANGLE_UNIT()
);
#36=(
LENGTH_UNIT()
SI_UNIT(.MILLI.,.METRE.)
);
#37=UNCERTAINTY_MEASURE_WITH_UNIT(LENGTH_MEASURE(2.1474836475E-007),#36,
'distance_accuracy_value','');
#38=DESIGN_CONTEXT('detail',#39,'design');
```



```
#39=APPLICATION_CONTEXT('');
#40=APPLICATION_PROTOCOL_DEFINITION('','config_control_design',1994,#39);
#41=PRODUCT_DEFINITION('','',#42,#38);
#42=PRODUCT_DEFINITION_FORMATION_WITH_SPECIFIED_SOURCE('','',#43,.NOT_KNOWN.);
#43=PRODUCT('exemplo_iges1','',',(#51));
#44=PRODUCT_RELATED_PRODUCT_CATEGORY('detail','',(#43));
#45=MECHANICAL_CONTEXT('',#39,'mechanical');
#46=PERSON_AND_ORGANIZATION(#47,#48);
#47=PERSON('D01','',',$, $, $);
#48=ORGANIZATION('','',');
#49=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('design_owner');
#50=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#46,#49, (#43));
#51=MECHANICAL_CONTEXT('',#39,'mechanical');
#52=PERSON_AND_ORGANIZATION(#53,#54);
#53=PERSON('PCR1','',',$, $, $);
#54=ORGANIZATION('','',');
#55=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('creator');
#56=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#52,#55, (#42));
#57=PERSON_AND_ORGANIZATION(#58,#59);
#58=PERSON('DSU1','',',$, $, $);
#59=ORGANIZATION('','',');
#60=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('design_supplier');
#61=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#57,#60, (#42));
#62=CC_DESIGN_APPROVAL(#63, (#42));
#63=APPROVAL(#64, '');
#64=APPROVAL_STATUS('approved');
#65=APPROVAL_DATE_TIME(#66,#63);
#66=DATE_AND_TIME(#67,#68);
#67=CALENDAR_DATE(1997,11,7);
#68=LOCAL_TIME(0,0,0.,#69);
#69=COORDINATED_UNIVERSAL_TIME_OFFSET(0,0,.AHEAD.);
#70=APPROVAL_PERSON_ORGANIZATION(#71,#63,#74);
#71=PERSON_AND_ORGANIZATION(#72,#73);
#72=PERSON('DAI1','',',$, $, $);
#73=ORGANIZATION('','',');
#74=APPROVAL_ROLE('');
#75=CC_DESIGN_SECURITY_CLASSIFICATION(#76, (#42));
#76=SECURITY_CLASSIFICATION('','',#77);
#77=SECURITY_CLASSIFICATION_LEVEL('unclassified');
#78=CC_DESIGN_APPROVAL(#79, (#76));
#79=APPROVAL(#80, '');
#80=APPROVAL_STATUS('approved');
#81=APPROVAL_DATE_TIME(#82,#79);
#82=DATE_AND_TIME(#83,#84);
#83=CALENDAR_DATE(1997,11,7);
#84=LOCAL_TIME(0,0,0.,#85);
#85=COORDINATED_UNIVERSAL_TIME_OFFSET(0,0,.AHEAD.);
#86=APPROVAL_PERSON_ORGANIZATION(#87,#79,#90);
#87=PERSON_AND_ORGANIZATION(#88,#89);
#88=PERSON('SCA1','',',$, $, $);
#89=ORGANIZATION('','',');
#90=APPROVAL_ROLE('');
#91=CC_DESIGN_DATE_AND_TIME_ASSIGNMENT(#92,#96, (#76));
#92=DATE_AND_TIME(#93,#94);
#93=CALENDAR_DATE(1997,11,7);
#94=LOCAL_TIME(0,0,0.,#95);
#95=COORDINATED_UNIVERSAL_TIME_OFFSET(0,0,.AHEAD.);
#96=DATE_TIME_ROLE('classification_date');
#97=PERSON_AND_ORGANIZATION(#98,#99);
#98=PERSON('SCO1','',',$, $, $);
#99=ORGANIZATION('','',');
#100=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('classification_officer');
#101=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#97,#100, (#76));
#102=CC_DESIGN_DATE_AND_TIME_ASSIGNMENT(#103,#107, (#41));
#103=DATE_AND_TIME(#104,#105);
#104=CALENDAR_DATE(1997,11,7);
#105=LOCAL_TIME(0,0,0.,#106);
```



```
#106=COORDINATED_UNIVERSAL_TIME_OFFSET(0,0,.AHEAD.);
#107=DATE_TIME_ROLE('creation_date');
#108=PERSON_AND_ORGANIZATION(#109,#110);
#109=PERSON('DAPI', '', '$,$,$');
#110=ORGANIZATION('','','');
#111=PERSON_AND_ORGANIZATION_ROLE('creator');
#112=CC_DESIGN_PERSON_AND_ORGANIZATION_ASSIGNMENT(#108,#111, (#41));
#113=CC_DESIGN_APPROVAL(#114, (#41));
#114=APPROVAL(#115, '');
#115=APPROVAL_STATUS('approved');
#116=APPROVAL_DATE_TIME(#117,#114);
#117=DATE_AND_TIME(#118,#119);
#118=CALENDAR_DATE(1997,11,7);
#119=LOCAL_TIME(0,0,0.,#120);
#120=COORDINATED_UNIVERSAL_TIME_OFFSET(0,0,.AHEAD.);
#121=APPROVAL_PERSON_ORGANIZATION(#122,#114,#125);
#122=PERSON_AND_ORGANIZATION(#123,#124);
#123=PERSON('API1', '', '$,$,$');
#124=ORGANIZATION('','','');
#125=APPROVAL_ROLE('');
#126=PRODUCT_DEFINITION_SHAPE('','',#41);
#127=SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#126,#10);
ENDSEC;
END-ISO-10303-21;
```



ANEXO C – STEP on a page

igzell, 804Act, 23 rev. 03-0440? Origin: ISO 10303 Editing Committee Online: http://www.nist.gov/iso/step

1-1 Overview and fundamental principles
1-11 EXPRESS language reference manual (c1, c2, c3, X, ISO 10303-11: X)
1-12 EXPRESS language reference manual type 2 schema report (c1, c2, c3, X)
X-13 Architecture and Methodology reference manual
F-14 EXPRESS language reference manual

ISO TC184 SC4

STEP on a Page

ISO 10303

APPLICATION PROTOCOLS AND ASSOCIATED ABSTRACT TEST SUITES

I 201 Explicit draughting [ATS 301 - X]	C 221 Functional data & their schem rep for process plant [X]
I 202 Associative draughting [X]	X 222 Design manual for composite structures [W]
I 203 Configuration-controlled design (c2, Lc1 - I) [X]	X 223 Exch of design & mfg product info for cast parts [X]
I 204 Mechanical design using boundary rep [I]	I 224 Mech pdt def for p. pfg using mach n'g feat (c2 - X, c3 - A)
X 205 Mechanical design using surface rep [W]	I 225 Building elements using explicit shape rep [C] [X, I]
X 206 Mechanical design using wireframe [X]	X 226 Ship mechanical systems [C]
I 207 Sheet metal die planning and design [I]	I 227 Plant spatial configuration (c2 - C) [X]
X 208 Life-cycle product change process [X]	X 228 Building services: HVAC [X]
I 209 Composite & metal structural anal & related design [X]	X 229 Design & mfg product info for forged parts [X]
I 210 Electronic assy, interconnection & packaging design [X]	X 230 Building structural frame: steelwork [X]
X 211 Electronic P.C assy: test, diag, & remanuf [X]	X 231 Process-engineering data [X]
I 212 Electromechanical design and installation [C]	I 232 Technical data packaging: core info & exch [I]
X 213 Num control (NC) process plans for mach'd parts [X]	W 233 Systems engineering data rep (to be PAS 20542) [X]
I 214 Core data for automotive mech design processes (c2 - I) [I]	X 234 Ship operational logs, records, and messages [X]
I 215 Ship arrangement [X]	W 235 Materials info for des and verif of products [X]
I 216 Ship moulded forms [X]	W 236 Furniture product and project data [W]
X 217 Ship piping [X]	W 237 Computational fluid dynamics
X 218 Ship structures [X]	A 238 Computer numerical controllers
X 219 Dimension inspection [X]	W 239 Product life cycle support
C 220 Proc. pfg, mfg, assy of layered electrical products [X]	W 240 Process plans for machined products

COMMON RESOURCES (with 13584-20 logic model of expr.(1) and 15531-42 Time (W))

APPLICATION MODULES (Technical specifications)

For status of the modules access the file via the SOAP home page.

INTEGRATED APPLICATION MODULES

I 101 Draughting (c1 - I)	X 106 Building core model
X 102 Ship structures	C 107 Finite-element analysis definition relationships
X 103 Finite connectivity	C 108 Paramet'n & Constraints for expl geom prod mfg
I 104 Finite element analysis	C 109 Assembly model for products
I 105 Kinematics (c1 - I, c2 - I)	W 110 Mesh-based computational fluid dynamics

INTEGRATED GENERIC RESOURCES

I 41 Fund of pdct desgn & spt (c2 - I, c1 - I)	I 50 Mathematical constructs
I 42 Geom & top rep (c3 - I, c2 - I, c1 - I)	I 51 Mathematical description
I 43 Repres specialization (c2 - I, c1 - I, c2 - I)	W 52 Mesh-based topology
I 44 Product struct config (c2 - I, c1 - I)	W 53 Numerical Analysis
I 45 Materials (c1 - I)	C 54 Classification Set theory
I 46 Visual presentation (c1 - I, c2 - I)	A 55 Procedural and hybrid represent
I 47 Tolerances (c1 - I)	W 56 State
X 48 Form features	W 57 Expression extensions
I 49 Process structure & properties	A 58 Risk

APPLICATION INTERPRETED CONSTRUCTS

I 501 Edge-based wireframe	I 512 Faceted B-representation
I 502 Shell-based wireframe	I 513 Elementary B-rep
I 503 Geom-bounded 2D wireframe	I 514 Advanced B-rep
I 504 Draughting annotation	I 515 Constructive solid geometry
I 505 Drawing structure & admin	X 516 Mechanical design context
I 506 Draughting elements	I 517 Mech-design geom presentation (c1 - I)
I 507 Geom-bounded surface	I 518 Mech-design shaded presentation
I 508 Non-manifold surface	I 519 Geometric tolerances (c1 - I)
I 509 Manifold surface	I 520 Assoc draughting elements
I 510 Geom-bounded wireframe	A 521 Manifold sub-surfaces
I 511 Topological-bounded surface	I 522 Machining features
	A 523 Curve swept solid

IMPLEMENTATION METHODS

I 221 Clear-text encoding exch str (c1 - I, c2 - I)	C 25 EXPRESS to OMG XML
I 222 Standard data access interface	X 26 HDL language binding (to = 22)
I 223 C++ language binding (to = 22)	I 27 JAVA language binding (to = 22)
I 224 C language binding (to = 22)	A 28 XML rep for EXPRESS schemata & data
	X 29 Low Java binding (to = 22) (DTS)

Legend: Part Status (I, F, I safe to implement)
O - Preliminary Stage (Proposal - app for NP ballot)
10 - A - Proposal Stage (NP ballot circ - NP approval)
20 - W - Preparatory Stage (Wkg Draft devel - CD regis)
30 - C - Committee Stage (CD circulation - DIS regis)

40 - I - Inquiry Stage (DIS circ - FDIS registration)
50 - F - Approval Stage (FDIS circ - Int'l Std regis)
60 - A - At ISO, approved for publication (ISO status 40, 55 or 50/50)
70 - I - Publication Stage (Int'l Std published)
98 - X - Project withdrawn

Legend: TS Status

0-10 - O - prop - app for ballot
10-20 - A - NP ballot circ - NP approval
20-60 - D - DIS devel - reg as TS
60 - T - TS Published

CONFORMANCE TESTING METHODOLOGY & FRAMEWORK

- 1-1 General concepts
- 1-2 Requirements on testing labs and clients
- 1-3 Structure and use of abstract test suites
- 1-4 Abstract test methods for Part 21 implementation
- 1-5 Abstract test methods for Part 22 implementation



ISO TC184 SC4

STEP on a Page

ISO 10303

COMMON RESOURCES (with 13584-20 Logical model of expressions (L) and 15531-42 Time model (W))

APPLICATION MODULES (Technical specifications)

T 1001 Appearance assignment
T 1002 Colour
T 1003 Curve appearance
T 1004 Elemental shape
T 1005 Elemental topological shape
T 1006 Foundation representation
T 1007 General surface appearance
T 1008 Layer assignment
T 1009 Shape appearance and layers
D 1010 Date time
D 1011 Person organisation
D 1012 Approval
D 1013 Person organisation assignment
D 1014 Date time assignment
D 1015 Security classification
D 1016 Product categorisation
D 1017 Product identification
D 1018 Product version
D 1019 Product view definition
D 1020 Product version structure
D 1021 Identification assignment
D 1022 Part and version identification
D 1023 Part view definition
D 1024 Product structure
D 1025 Alias identification
D 1026 Part structure
D 1027 Part occurrence
D 1028 Geometric shape and topology
D 1029 Boundary representation model
D 1030 Property assignment
D 1031 Property representation
D 1032 Shape property assignment
D 1033 Shape property representation
D 1034 Product view definition properties
D 1035 Product view definition structure properties
D 1036 Independent property
D 1037 Independent property usage
D 1038 Independent property representation
D 1039 Geometric validation property representation
D 1040 Process property assignment

D 1041 Product view definition structure
D 1042 Work request
D 1043 Work order
D 1044 Certification
D 1045 Solid model
D 1046 Product replacement
D 1047 Activity
D 1049 Activity method
D 1054 Value with unit
D 1055 Part definition relationship
D 1056 End item identification
D 1057 Effectivity
D 1058 Configuration effectivity
D 1059 Effectivity application
D 1060 Product concept identification
D 1061 Project
D 1062 Contract
D 1064 Event
D 1065 Time Interval
D 1066 Constructive solid geometry
D 1068 Constructive solid geometry 3D
D 1069 Faceted boundary representation model
D 1118 Measure representation
D 1121 Document and version
D 1122 Document assignment
D 1123 Document definition
D 1124 Document structure
D 1125 File properties
D 1126 Document properties
D 1127 File identification
D 1128 External item identification assignment
D 1501 Edge based wireframe
D 1502 Shell based wireframe
D 1507 Geometrically bounded surface
D 1509 Manifold surface
D 1510 Geometrically bounded wireframe
D 1511 Topologically bounded surface
D 1512 Faceted boundary representation
D 1514 Advanced boundary representation

Legend: TS Status

0-10 =O=prop->apvl for ballot
10-20=A=NP btl circ->NP apvl
20-60=D=DTS dev->reg as TS
>60 =T=TS Published