



- **APRENDIZAGEM DO DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIES:  
MEIO DIDÁTICO DE UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA  
COMPUTACIONAL DISPONÍVEL**

**Bruno Tinen** – bruno.tinen@usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP

Av. Prof. Almeida Prado, trav 2, nº 83 – Edif. de Eng. Civil – Cidade Universitária

05508-900 – São Paulo – São Paulo

**Roberto Silva Dragão** – rdragao@usp.br

**Fernando Akira Kurokawa** – fernando.kurokawa@poli.usp.br

**Cheng Liang Yee** – cheng.yee@poli.usp.br

**Fabiano Rogerio Correa** – fabiano.correa@poli.usp.br

**Sérgio Leal Ferreira** – sergio.leal@poli.usp.br

***Resumo:** O desenvolvimento de superfícies complexas pode tornar-se um desafio quando analisado do ponto de vista do design virtual. Atualmente, existem no mercado dezenas de softwares voltados para o CAD/CAE, sendo inúmeras as ferramentas disponíveis. Entretanto, nem sempre está clara a função exata de cada uma delas e, de como podem ser combinadas para gerar funções ainda mais complexas, a planificação de superfícies é um destes casos. Apesar das ferramentas de planificação estarem embutidas nesses softwares, na maioria das vezes elas se mostram limitadas a um pequeno número de casos que nem sempre atendem às especificações de um determinado projeto que possa ser aplicado em um curso introdutório. Dessa forma, o foco desse trabalho é desenvolver a planificação de um modelo usando o software “Unigraphics NX” distribuído pela Siemens PLM Software, ferramenta disponível atualmente no curso de Engenharia. O objetivo é encontrar formas práticas e com potencial didático de se utilizar essa ferramenta para o desenvolvimento de superfícies relativamente complexas de uma carenagem de um veículo.*

***Palavras-chave:** Ensino, Comunicação Gráfica, Geometria, Representação, Engenharia.*

## 1. INTRODUÇÃO

Geometria Gráfica para Engenharia e Representação Gráfica para Engenharia são os nomes das duas disciplinas de comunicação gráfica, obrigatórias, que fazem parte do currículo dos alunos ingressantes destinados aos 17 cursos/habilitações de Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Essas duas disciplinas são ministradas pela equipe de docentes do departamento de Engenharia de Construção Civil e é oferecida aos 750 alunos ingressantes da Escola

Realização:



Organização:





Politécnica, além de aproximadamente 60 veteranos e ingressantes por transferência.

Os alunos são divididos em 18 turmas de no máximo 48 alunos. O número 48 é devido ao número de lugares nas salas de aula (Figura1), e estão associados também à disponibilidade de um computador por mesa com dois lugares. Para chegar nessa configuração, o projeto das salas de aula foi objeto de diversos estudos (CHENG & GIUNTA, 2004; GIUNTA & CHENG, 2006).



Figura 1 - Espaços das salas de aula: Projetado (esquerda) e Executado (direita).

As atividades didáticas dessas disciplinas são elaboradas para que os alunos aprendam o conteúdo básico através de temas mais relacionados à engenharia quanto for possível. Em contrapartida, não se pode aprofundar em temas com os quais eles ainda não tiveram nenhum contato. Tudo isso depende de um histórico de experimentações e avaliações que tem sido uma constante no trabalho nessas disciplinas (CHENG *et al.*, 1998; SANTOS *et al.*, 1998; SANTOS *et al.*, 1999; FERREIRA & SANTOS, 2000; SANTOS *et al.*, 2003). Além de conteúdos teóricos e exercícios práticos de Geometria, também inclui uma parte prática envolvendo o uso de sistemas CAD - *Computer Aided Design* onde os alunos se utilizam de duas salas do LEC (Laboratório de Ensino de CAD).

Essas ferramentas computacionais de CAD permitem o desenvolvimento de superfícies que podem posteriormente serem fabricadas de alguma forma. Atualmente, as superfícies desenvolvidas nas disciplinas estão relacionadas a uma carenagem de um veículo. O desenvolvimento da planificação de superfícies complexas pode tornar-se um desafio quando analisado do ponto de vista do design virtual. Atualmente, existem no mercado dezenas de softwares voltados para o CAD/CAE, sendo inúmeras as ferramentas disponíveis. Entretanto, nem sempre está clara a função exata de cada uma delas e, de como podem ser combinadas para gerar funções ainda mais complexas. A planificação de superfícies é um destes casos.

Apesar das ferramentas de planificação estarem embutidas nesses softwares, na maioria das vezes, elas se mostram limitadas a um pequeno número de casos que nem sempre atendem às especificações de um determinado projeto.

Existem softwares que são capazes de realizar a planificação de um modelo, como no caso do *Pepakura Designer* (<http://www.tamasoft.co.jp/pepakura-en/>). Dessa forma, o foco desse trabalho é desenvolver a planificação de um modelo usando o software “Unigraphics NX” distribuído pela Siemens PLM Software e amplamente utilizado pelos setores de engenharia. O software “Unigraphics NX” é uma ferramenta, com amplas aplicações desde a etapa do design até a etapa da verificação dos parâmetros de um projeto, com diversas



possibilidades de análises. Ela está disponível no curso de Engenharia da Escola Politécnica através da participação no PACE (<http://www.pacepartners.org/>).

A finalidade é encontrar formas de se utilizar essa ferramenta disponível para o desenvolvimento de superfícies suficientemente complexas de uma carenagem de um veículo como forma de auxiliar no aprendizado do tópico nas disciplinas anteriormente citadas. Outro objetivo é de explorar a planificação gerada por essa metodologia permitindo que uma máquina de corte a laser produza as peças desenvolvidas e projetadas no computador. Esta etapa, entretanto, ainda será desenvolvida ao longo deste ano e não será apresentado aqui. Neste trabalho será apresentada apenas a parte do desenvolvimento do modelo virtual.

## 2. OBJETIVOS

As disciplinas de Geometria Gráfica para Engenharia e Representação Gráfica para Engenharia têm como parte de seus projetos semestrais o confecção de uma carenagem de um veículo em papel, em escala reduzida, sendo claramente necessária a etapa de planificação da mesma para a posterior fabricação e montagem.

O software utilizado pelos alunos no segundo semestre para o desenvolvimento da superfície é o “Unigraphics NX” versão 7.5. No caso deste software, mesmo com toda a documentação que acompanha o programa, a descrição do uso de muitas ferramentas disponíveis não é clara. Existem diversos treinamentos disponíveis no mercado, porém, em geral, são muito caros e, para o desenvolvimento de projetos acadêmicos não tem muita utilidade.

Dessa forma, o principal objetivo deste trabalho é estudar e desenvolver uma metodologia necessária para que usuários com pouca experiência sejam capazes de utilizar o software para planificar uma carenagem previamente modelada. A finalidade é auxiliar os alunos da Escola Politécnica fornecendo uma metodologia para o desenvolvimento do projeto semestral.

## 3. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIES

Desde o início da modelagem, para o desenvolvimento da superfície da carenagem planificada no software NX o objetivo é o de utilizar os recursos oferecidos pelo ambiente *NX Sheet Metal* que se demonstra o mais diretamente relacionado ao tema.

O *NX Sheet Metal* é um ambiente voltado basicamente para o desenvolvimento de placas metálicas. Através de recursos de varredura, é possível a construção de chapas e, a partir das mesmas, a confecção de dobras, estampas e outros processos de fabricação típicos de placas metálicas.

Neste ambiente existem três ferramentas importantes que foram o foco desta etapa do trabalho:

- *Sheet Metal From Solid*,
- *Unbend*,
- *Flat Pattern*.

A primeira faz a conversão de faces planas de um sólido em placas tratáveis no ambiente *NX Sheet Metal*. O segundo foi usado para a verificação da consistência das dobras geradas pela primeira ferramenta. Já, o último é a ferramenta que faz a planificação da placa e gera um modelo de linhas, indicando as arestas de dobra.



Vale notar que, a ferramenta *Sheet Metal From Solid* possui a restrição de apenas poder ser utilizada em faces planas, criando a primeira barreira deste projeto: tratar as superfícies curvas através do software de modo a se obter faces tratáveis pela ferramenta. Até o estágio atual do projeto, ainda não foi descoberto um modo de se planificar superfícies curvas através deste software.

### 3.1. Desenvolvimento do modelo sólido

O primeiro passo para a obtenção das superfícies foi o desenvolvimento de um modelo sólido. Para tal, foi usado como base um modelo planificado pronto do *papercraft* da Ferrari Enzo (KATO, 2007). O modelo usado é simplificado e apenas as curvas gerais foram retiradas do mesmo. Para obter as curvas mais fieis ao modelo planificado foi utilizada a ferramenta *Raster Image* que permite colar uma imagem em formato *.tiff* em um plano no ambiente 3D do NX. A partir desta imagem é então possível copiar as curvas, criando-se um *sketch* no plano da mesma.

A partir do perfil lateral, constituído apenas de retas, foi criada a base para o modelo através de uma varredura. Foram-se então adicionando os detalhes: o capô da carenagem, entradas de ar, portas e a cabine dos passageiros.

Para definir tais detalhes foram criados planos de corte, ou a partir da própria base, ou a partir de sub-blocos criados sobre a base. O exemplo mais evidente de sub-bloco é a cabine de passageiros, que foi criada a partir da varredura do perfil externo da cabine na direção ortogonal à base.

No caso das portas e das entradas existentes na lateral da carenagem, foram criados perfis externos que são extrudados e refinados através da confecção de diversos chanfros.

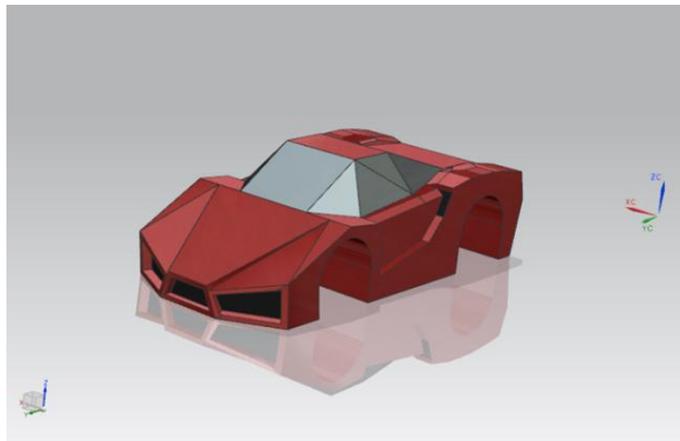


Figura 2 - Modelo obtido na primeira etapa.

Durante a modelagem, surgiram superfícies que eram impossíveis de serem descritas por apenas um plano. Nesses casos, a abordagem adotada foi a de se aproximar tal superfície por dois planos, de forma que a mesma passou a ser representada por dois planos triangulares. O modelo final obtido desta etapa pode ser observado na Figura 2.

O sólido foi gerado a partir das curvas obtidas da imagem. Através da ferramenta *Scale Body* é possível redimensionar o modelo para que o mesmo se ajuste à escala desejada no projeto.



### 3.2. Conversão para o ambiente NX *Sheet Metal*

Com o modelo tridimensional pronto partiu-se para a conversão das superfícies em objetos do tipo *Sheet Metal*. Para que seja representado em uma folha de papel (material que será usado na confecção das carenagens na disciplina) tomou-se como preferências para o objeto *Sheet Metal* uma espessura de 0.03mm e um raio de curvatura de 0.015mm.

Para que haja a conversão das superfícies planas basta utilizar o comando *Sheet Metal From Solid*. Selecionam-se, então, as superfícies que irão compor o objeto do tipo *Sheet Metal*. Em seguida, devem-se selecionar superfícies adjacentes e, caso haja mais de um caso possível de seleção de arestas de dobra, selecioná-las de modo apropriado, ou seja, de forma que não cause intersecções no momento da planificação e que facilite a posterior montagem. Se não houver mais de um caso possível de seleção de arestas de dobra, o próprio software irá identificá-las.

Apesar de ser uma ferramenta eficaz em diversas situações, existem algumas nas quais o objeto do tipo *Sheet Metal* não consegue ser gerado, mesmo satisfazendo a condição de serem utilizadas apenas superfícies planas. Em geral, são casos em que o programa não é capaz de calcular as diversas superfícies selecionadas e uni-las em um único objeto. Uma possível solução para tal problema é a diminuição do número de superfícies selecionadas para serem transformadas em objetos *Sheet Metal*, ou seja, aumenta-se o número de objetos do tipo *Sheet Metal*, mas cada objeto se refere a um número menor de faces do sólido.

Nesta etapa então, deve-se obter os equivalentes em *Sheet Metal* de todas as superfícies do sólido modelado anteriormente. As superfícies geradas podem ser observadas na Figura 3.

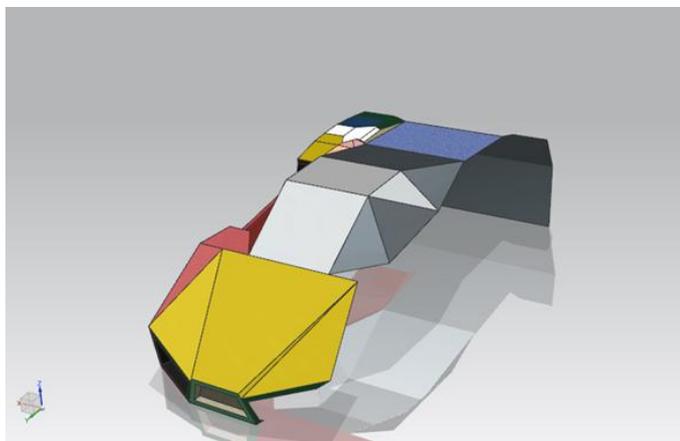


Figura 3 - Objetos do tipo *Sheet Metal* obtidos na segunda etapa. Cores diferentes foram usadas para representar diferentes superfícies. As áreas sem superfície serão aquelas em que já existe uma superfície simétrica gerada.

### 3.3. Planificação das superfícies

Neste passo, basicamente será necessária a ferramenta *Flat Pattern*. Sua função é de, a partir de um objeto do tipo *Sheet Metal*, identificar as dobras. E, a partir da definição de uma superfície que servirá de referência para o programa, desfazê-las gerando uma visualização daquela superfície planificada. Esse processo poderá posteriormente ser acessado através do *Model Views* na janela do *Part Navigator* do NX.



Cada uma das planificações gera um objeto de visualização que contem apenas as arestas da superfície que foi planificada, na qual também são identificadas adequadamente as arestas de dobra. Um exemplo do uso desta poderosa ferramenta pode ser observado nas peças da Figura 4.

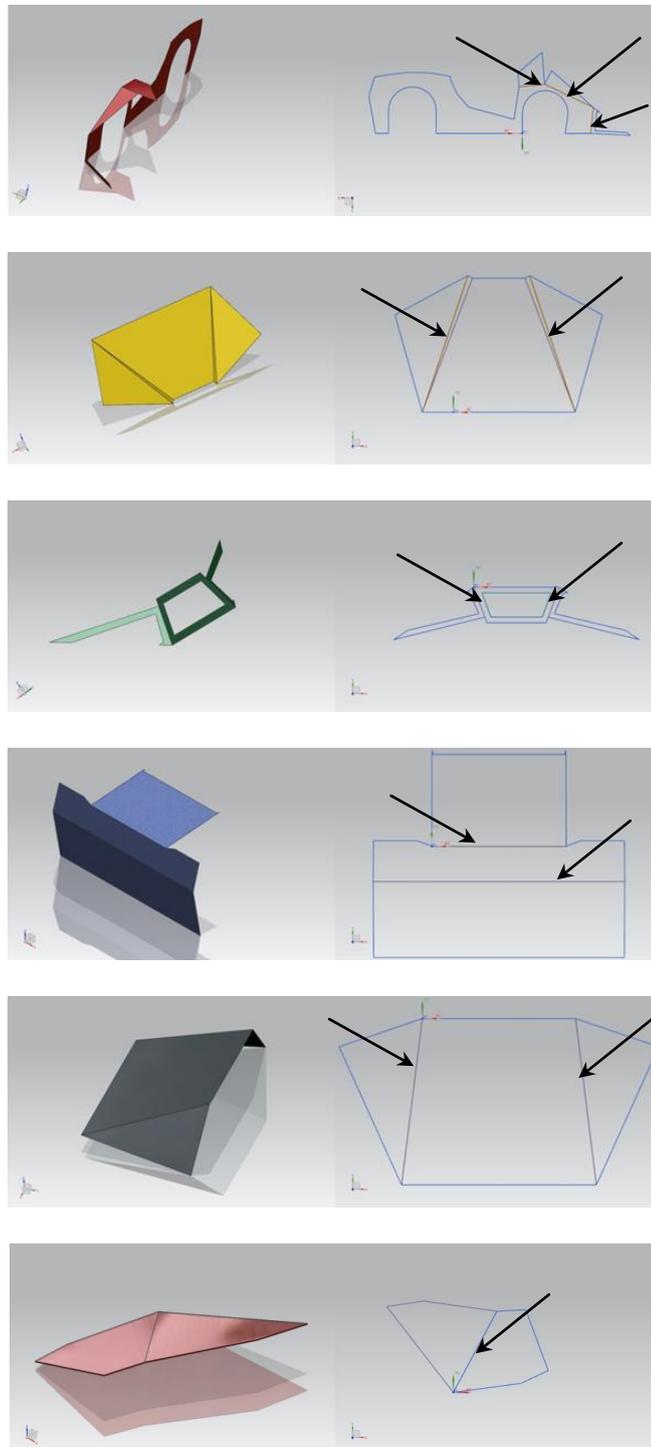


Figura 4 – Amostra da planificação de algumas das superfícies do sólido através da ferramenta *Flat Pattern*. As arestas sinalizadas com a seta simbolizam as arestas de dobra.



Apesar das facilidades do uso desta ferramenta, a mesma possui alguns problemas que dificultam o seu uso. Ela está baseada na ferramenta *Unbend*, que também pertence ao ambiente *NX Sheet Metal*. Quando a aresta dobrada não consegue ser desdobrada pelos cálculos do programa, a superfície não é gerada.

Então, nesta etapa basta desdobrar todas as superfícies e gerar todos os arquivos de visualização das diversas peças do modelo. As peças que são simétricas em relação a um eixo de simetria da carenagem só precisam ser geradas uma vez, já que poderão ser espelhadas posteriormente.

### 3.4. Geração do arquivo com as peças para a montagem

Nesta última etapa, será gerado o arquivo *.pdf* para a impressão das peças planificadas do projeto. Para tanto, será usado o ambiente *Drafting* do NX.

Primeiramente, escolhe-se a dimensão da folha que será utilizada para a impressão. O tamanho da folha depende apenas das dimensões do modelo. Para o caso desse modelo foi utilizado uma folha A3. É importante notar que, caso necessite de peças maiores/menores, basta utilizar a ferramenta de aumentar/diminuir o modelo sólido em escala antes de começar a criar os objetos do tipo *Sheet Metal*.

Basta então, adicionar todas as vistas geradas pela ferramenta *Flat Pattern* através do módulo *Base View* do ambiente *Drafting*. Cada uma das peças irá corresponder a um novo *Base View*. Caso uma peça seja repedita múltiplas vezes, adicionam-se diversas vezes a mesma vista. Se a peça for espelhada em relação a algum eixo de simetria, seleciona-se *Sketch View* adequado no ambiente *Drafting*, desenha-se a linha que representa o eixo de simetria no *sketch* e então, utiliza-se a ferramenta *Mirror Curve*, nativa de *sketches*. Por fim, apaga-se a linha que foi realizada para representar o eixo de simetria, uma vez que, ela não será mais útil.

A Figura 5 ilustra todas as peças planificadas do modelo utilizado neste trabalho. Todas as peças simétricas podem ser claramente observadas.

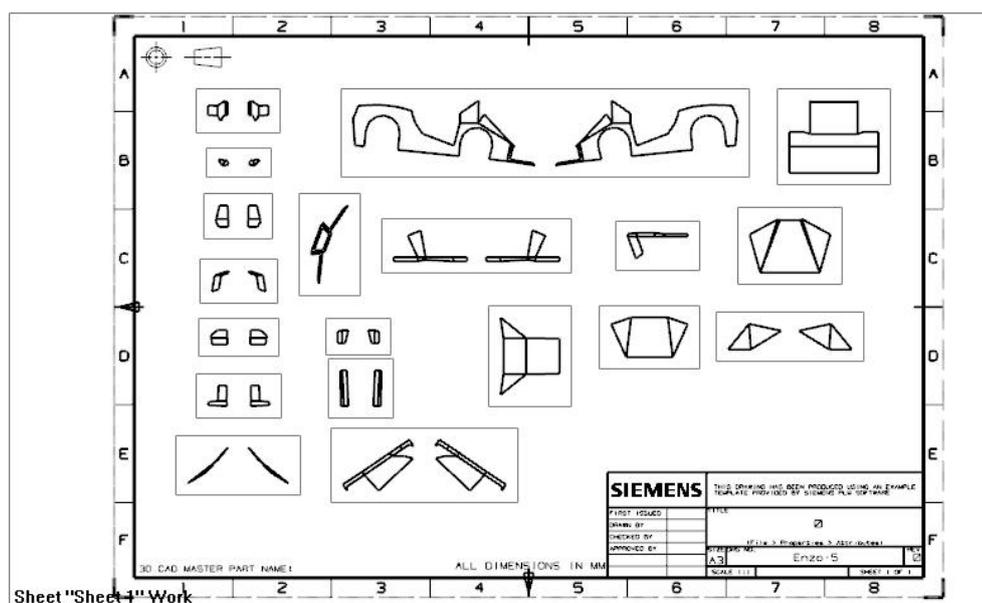


Figura 5 – Planificação das peças preparada para impressão.



Ainda faltam adicionar as abas de colagem para todas as peças, a fim de que possam ser montadas posteriormente. Analogamente ao processo de criação das peças simétricas, selecionam-se os *sketches* correspondentes às peças e utilizando as ferramentas de linha de *sketch*, podem-se desenhar as abas adequadamente. Basta então exportar o arquivo no formato *.pdf* e imprimi-las.

#### 4. RESULTADOS

Apesar de ser possível a planificação com a metodologia dada na seção anterior, o modelo aproximado da carenagem é apenas composto por superfícies planas, ou seja, todas as arestas e superfícies curvas são aproximadas por um dado número de elementos lineares (tais elementos definidos pelo próprio usuário).

Uma comparação entre o modelo produzido pelo método introduzido neste trabalho e uma carenagem pré-modelada, sem fins de linearização, pode ser observado na Figura 6.

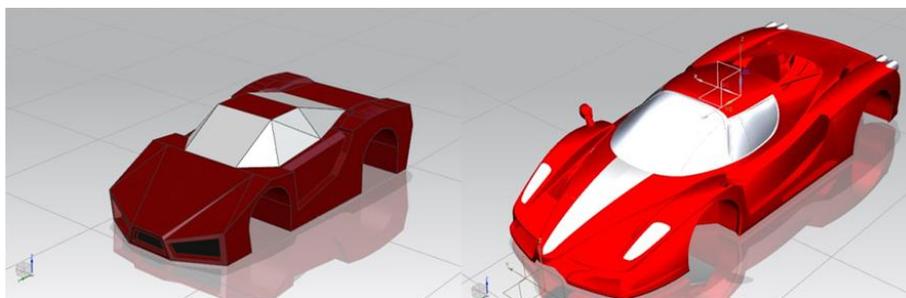


Figura 6 – À direita o modelo linearizado e à esquerda o modelo original, com todas as suas superfícies curvas.

Uma possível alternativa para minimizar o erro obtido através da linearização seria o de aumentar o número de superfícies planas que descrevem a carenagem. O próprio software é baseado em aproximações para a confecção de curvas e, portanto, se o número de superfícies for grande o suficiente, as imperfeições seriam imperceptíveis.

Existe, entretanto, uma dificuldade nesta abordagem. No modelo utilizado, mesmo com um número reduzido de superfícies e um computador razoavelmente rápido, muitas das ferramentas de software de CAD tem uma funcionalidade muito reduzida já que, o tempo necessário para a execução das mesmas, cresce de modo surpreendente.

Em uma operação de rotação do modelo, por exemplo, o software para de responder por vários minutos. Em muitos casos, é necessário finalizar a operação, o que implica na perda de todo as alterações no modelo que não foram salvas.

Assim, quanto maior o número de superfícies, maior o poder de processamento do computador. Há também, como já foi brevemente descrito na metodologia, problemas relacionados com as ferramentas que são utilizadas do ambiente *NX Sheet Metal*. Muitas vezes, o usuário irá se deparar com erros cuja causa não é claramente exposta pelo programa, o que leva a uma dificuldade em resolvê-los. Provavelmente, tais erros são gerados devido a erros de aproximações existentes no próprio programa.

Apesar das dificuldades, a aproximação aqui apresentada, tem sua utilidade. Seguindo os passos apresentados é possível criar um modelo planificado com uma velocidade razoavelmente grande, dado que o usuário tem certa familiaridade com o ambiente de modelagem do *NX*. Consequentemente, para os projetos semestrais dos alunos dos cursos de



Geometria Gráfica para Engenharia e Representação Gráfica para Engenharia este método mostrar-se útil.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ambiente e as ferramentas disponibilizadas pelo *NX Sheet Metal* podem ser aplicados não só no que se refere à modelagem de chapas metálicas, mas também em modelos de papel.

O NX possui uma gama muito grande de possibilidades do uso de ferramentas para possibilitar a planificação de um modelo. Um exemplo de ferramenta com esta finalidade é o *Metaform* que também está presente no ambiente *Sheet Metal*. A metodologia apresentada deve servir apenas como uma base para que o usuário possa evoluir e descobrir diversas outras ferramentas que possam facilitar ainda mais o seu trabalho.

Deve-se salientar, porém, os meios pelos quais a solução deste problema pode se tornar ainda mais difícil. Uma delas é a de tentar partir de objetos do tipo *Sheet Metal* para se construir um modelo. Apesar de todas as ferramentas disponíveis, seria necessária uma grande precisão na aplicação do ângulo de dobras, já que um pequeno erro em uma dessas dobras se propagaria para todo o modelo.

Além disso, tentar planificar um modelo a partir de sua modelagem através de suas superfícies também pode se mostrar um desafio ainda maior. Mesmo que fosse feita uma aproximação da maneira mais fiel possível do modelo, as curvas e superfícies curvas existentes impossibilitariam a aplicação de diversas ferramentas existentes no NX. Com a finalidade da planificação de um modelo simplificado, o NX se mostrou bastante eficiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHENG, L. Y. **Desenho para engenheiros: O que ensinar?** In: I Encontro Latino Americano de Diseno 'Diseno en Palermo' Comunicaciones Academicas, 2006, Buenos Aires. Actas de Diseno. Buenos Aires : Estela Pagina. p. 209-210.

CHENG, L. Y.; FERREIRA, S. L. ; CARDOSO, L. R. A.; KAWANO, A. SANTOS, E. T. Projeto Geométrico de uma Ponte no Ensino do Desenho Técnico. **Anais:** IV Encontro de Ensino de Engenharia, Itaipava: UFJF/UFRJ, 1998.

CHENG, L. Y.; GIUNTA, M. A. B. A Study on the Physical Environment for the Teaching of Design Graphics. **Anais:** The 11th International Conference on Geometry and Graphics, 2004, Guanzhou. Proceedings of the Eleventh International Conference on Geometry and Graphics. Guanzhou : GDUT, p. 204-207, 2004.

FERREIRA, S. L., SANTOS, E. T. Design and development of online multimedia resources to help learning geometry applications based on tools of easy access and utilization. **Anais:** 12th International Conference on Geometry and Graphics, 2006.

GIUNTA, M. A. B.; CHENG, L. Y. Uma proposta para posto de trabalho do aluno para o ensino de desenho e CAD. **Anias:** 6º ERGODESIGN. Bauru, 2006.

KATO, S. **Art66 PapeCarCraft – Enzo-Ferrari**. Disponível em < <http://art66.cocolog-nifty.com/kurumae/2007/04/index.html>>. Acesso em 18 maio de 2012.



PePaKuRa Design. Disponível em: < <http://www.tamasoft.co.jp/pepakura-en/>>. Acesso em 18 maio de 2012.

SANTOS, E. T.; FERREIRA, S. L.; CHENG, L. Y.; KAWANO, A.; PETRECHE, J. R. D.; AZEVEDO, L. R. Projeto Geométrico de uma Ponte no Ensino do Desenho Técnico. **Anais: COBENGE**. São Paulo, 1998.

SANTOS, E. T.; CHENG, L. Y.; PETRECHE, J. R. D.; FERREIRA, S. L.; CARDOSO, L. R. A. Projeto Geométrico de uma Barragem; uma Experiência no Ensino de Desenho Técnico. **Anais: COBENGE**. Natal: UFRN/ABENGE, 1999.

SANTOS, E. T.; FERREIRA, S. L.; KAWANO, A.; LEITE, B. C. C.; MAFALDA, R.; CHENG, L. Y.; PETRECHE, J. R. D.; AZEVEDO, L. R. Da geometria cotada ao Modelamento 3D. **Anais: GRAPHICA**. Santa Cruz do Sul, 2003.

## **LEARNING DEVELOPMENT SURFACE: TEACHING THROUGH THE USE OF COMPUTATIONAL TOOL AVAILABLE**

**Abstract:** *The development of complex surfaces can be challenging when examined from the viewpoint of the virtual design. Currently, there are dozens of CAD/CAE software in the market, and there are numerous tools available. However, the exact function of each tool and how they can be combined to generate even more complex functions is not always clear. Application on surface development is one of these cases. Despite tools to aid surface development are embedded in these software, in most cases, they are limited to a small number of cases that do not always meet the specifications of a project that can be applied in the introductory course. Thus, the focus of this work is to develop the process of planning a model using the software "Unigraphics NX" distributed by Siemens PLM Software, a tool currently available in the Engineering course. The goal is to find practical and didactic ways of using the tools for the development of a relative complex surface of a vehicle fairing.*

**Key-words:** *Teaching, Graphical Communication, Geometry, Representation, Engineering.*