

# TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA O SETOR DE CALÇADOS

Giancarlo Medeiros Pereira

n.8

Brasília 2009





# **TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA O SETOR DE CALÇADOS**

## **CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI**

*Presidente: Armando de Queiroz Monteiro Neto*

## **SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL - SENAI**

### **Conselho Nacional**

*Presidente: Armando de Queiroz Monteiro Neto*

### **SENAI - Departamento Nacional**

*Diretor-Geral: José Manuel de Aguiar Martins*

*Diretora de Operações: Regina Maria de Fátima Torres*



*Confederação Nacional da Indústria  
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
Departamento Nacional*

# TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA O SETOR DE CALÇADOS

**Giancarlo Medeiros Pereira**

n.8

**Brasília 2009**



Modelo SENAI de Prospecção

**Série Estudos Tecnológicos e Organizacionais**

© 2009. SENAI – Departamento Nacional

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

SENAI/DN

**Unidade de Prospectiva do Trabalho - UNITRAB**

---

Ficha catalográfica

---

P436t

Pereira, Giancarlo Medeiros.

Tecnologias emergentes para o setor de calçados / Giancarlo Medeiros Pereira. – Brasília : SENAI/DN, 2009.

86p. : il. (Série Estudos Tecnológicos e Organizacionais, n.8)

ISBN 978-85-7519-300-6

1. Calçados 2. Tecnologia I. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial II. Título

CDU: 658.3

---

**SENAI**

Serviço Nacional de  
Aprendizagem Industrial  
Departamento Nacional

**Sede**

Setor Bancário Norte  
Quadra 1 – Bloco C  
Edifício Roberto Simonsen  
70040-903 – Brasília – DF  
Tel.: (0xx61) 3317-9000  
Fax: (0xx61) 3317-9190

# Lista de Figuras

Figura 1 – Exemplos de desenhos em sistemas 2D (esquerda) e 3D (direita)	22
Figura 2 – Exemplo de peça técnica, de fácil modelagem direta	23
Figura 3 – Exemplo de solado de calçados	24
Figura 4 – Modelo CAD do solado da Figura 3	24
Figura 5 – Nuvem de pontos obtida a partir de uma digitalização	26
Figura 6 – Modelo computacional de um molde para solado de calçados	30
Figura 7 – Molde e respectivo modelo CAM	31
Figura 8 – Superfície gerada por uma operação de desbaste	35
Figura 9 – Resultado do acabamento na superfície do molde da Figura 8	36
Figura 10 – Exemplo de uma maquete usinada	37
Figura 11 – Modelo CAM completo	38
Figura 12 – Ferramenta de corte lateral, com detalhe ampliado à esquerda	42
Figura 13 – Cabeçote com quatro e cinco eixos	43
Figura 14 – Exemplos de chaplonas, perfis e gabaritos	46
Figura 15 – Fluxograma do ciclo CAM/CAM de modelagem	47
Figura 16 – Tampa de um molde	48
Figura 17 – Exemplos de molde, exibindo a linha de fechamento	51
Figura 18 – Exemplo de fôrma planificada em sistema CAD	65
Figura 19 – Exemplo de imagem de calçado criada por fotorrealismo	66
Figura 20 – Fôrma utilizada na fabricação de calçados	67
Figura 21 – Exemplos de cabedais de calçados	68



# Lista de Tabelas

Tabela 1 – Fornecedores atuais dos mercados de maior valor agregado

16



# Sumário

## APRESENTAÇÃO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	Algumas Tendências do Setor de Calçados	15
1.2	Os Novos Negócios	16
1.2.1	Afro-americanos	16
1.2.2	Geração Y	17
1.2.3	Conforto, ortóticos e ortopédicos	17
1.2.4	Fast fashion	18
1.3	Limitações da Competitividade Nacional	18
1.3.1	O desafio do “pouco e rápido”	18
<b>2</b>	<b>SISTEMAS CAD/CAM na MATRIZARIA CALÇADISTA</b>	<b>21</b>
2.1	Sistemas CAD	21
2.1.1	Modelagem direta da peça	22
2.1.2	Modelagem apoiada pela engenharia reversa	25
2.1.2.1	Digitalizadores para a engenharia reversa	27
2.1.2.2	Seleção de digitalizadores	28
2.1.3	Modelagens adicionais	30
2.1.4	CAD na matrizaria: limites atuais	31
2.1.5	Considerações gerenciais	34
2.2	Ferramentas CAM	35
2.2.1	Apresentação das ferramentas CAM	35

2.2.2	Modelamento em sistemas CAM	36
2.2.3	Aspectos técnicos adicionais	39
2.2.3.1	Acabamento “manual”	39
2.2.3.2	Estratégia dos ciclos de desbaste	40
2.2.3.3	Os equipamentos CNC	41
2.2.3.4	Ferramentas e máquinas	41
2.2.3.5	Acessórios para a usinagem	42
2.2.4	Visão técnica sistêmica	43
2.2.5	Considerações gerenciais	44
2.3	O Ciclo CAD/CAM	45
2.3.1	A etapa do CAD	45
2.3.2	A etapa do CAM	48
2.3.3	Fabricação	49
2.3.4	Considerações gerenciais	51
2.4	Vantagens do CAD/CAM	51
2.4.1	Melhoria da qualidade, precisão e fidelidade do produto	52
2.4.2	Maior liberdade na escolha de materiais	52
2.4.3	Redução de custos diversos	53
2.4.4	Novas oportunidades para melhoria nos processos produtivos	55
2.4.5	Ampliação do valor percebido em nível de produto/serviço	56
2.5	Implantação de Sistemas CAD/CAM	57
2.5.1	Competências demandadas	57
2.5.2	Formação de recursos humanos	57
2.5.3	Aspectos operacionais	58
2.5.4	Transferência da tecnologia: processo e requisitos	58

3	SISTEMAS CAD para DESENVOLVIMENTO de CALÇADOS	61
3.1	Contexto de Utilização	61
3.2	Aplicações e Limitações dos Sistemas CAD 2D na Modelagem Calçadista	62
3.3	Aplicações e Limitações dos Sistemas CAD 3D na Modelagem Calçadista	64
3.4	O Ciclo de Modelagem do Calçado no CAD	66
3.4.1	Importação das fôrmas	66
3.4.2	Importação ou criação dos modelos de cabedais	67
3.4.3	Alterações e aprovação de modelagem, texturas e cores	68
3.4.4	Alterações de fôrma e de projeto	69
3.5	Vantagens Advindas da Adoção do CAD 3D	70
3.5.1	Agilização do processo de modelagem	70
3.5.2	Melhoria do processo de criação	70
3.5.3	Redução do custo de modelagem	71
3.6	Implantação de Sistemas CAD na Modelagem de Calçados	72
3.6.1	Requisitos para operacionalização da tecnologia	72
3.6.2	Transferência da tecnologia: processo, requisitos e fornecedores	73
4	E-COMMERCE (B2C) e E-BUSINESS (B2B)	75
4.1	Sistemas B2B	75
4.2	Sistemas B2C	77
4.3	Ganhos de Produtividade e de Mercado	79
4.3.1	Sistemas B2B	79
4.3.2	Sistemas B2C	80
4.4	Requisitos de Implantação	81
4.4.1	Requisitos para operacionalização das tecnologias	81
4.4.2	Transferência da tecnologia: processo e requisitos	82

5 PRODUTOS para ASPERAÇÃO e LIXAÇÃO MECÂNICA	83
5.1 Princípio de Operação	83
5.2 Tipos de Equipamentos	84
5.3 Ganhos de Produtividade e de Mercado	85
5.4 Requisitos de Implantação	86
5.5 Transferência da Tecnologia: Processo, Requisitos e Fornecedores	86

# Apresentação

Com o intuito contribuir para um ambiente institucional favorável à difusão de novas tecnologias, temos o prazer de disponibilizar o estudo técnico *Tecnologias emergentes para o setor de calçados*. Este estudo constitui uma atividade de interação para a difusão tecnológica, a qual busca reduzir as incertezas dos principais agentes econômicos envolvidos nos processos de decisão associados a novas tecnologias. Essa ação dá continuidade à aplicação do Modelo SENAI de Prospecção no referido setor.

O estudo buscou gerar novas informações teóricas (funcionamento, vantagens produtivas etc.) e empíricas (estudos de caso) sobre as Tecnologias Emergentes Específicas (TEE) identificadas pela aplicação do Modelo SENAI de Prospecção. Para tal foram utilizadas fontes secundárias e primárias que apresentam dados reais sobre a importância das tecnologias para as empresas que as possuem.

Espera-se que este estudo possa ser mais um importante instrumento de informação sobre o mercado de trabalho, a educação profissional e os serviços tecnológicos para empresas e profissionais do setor, entidades representativas de empregadores e de trabalhadores, bem como para a tomada de decisão quanto à formulação de políticas de formação profissional.

*José Manuel de Aguiar Martins*  
*Diretor-Geral do SENAI/DN*



# 1 Introdução

## 1.1 Algumas Tendências do Setor de Calçados

As indústrias de calçados de todo o mundo estão rapidamente perdendo seus antigos mercados locais e globais em função do assustador avanço dos produtos produzidos na China e em seus vizinhos asiáticos (ex.: Vietnã). Vantagens locais como custo da mão de obra e impostos reduzidos associados a menores tarifas de importação estipuladas por muitos dos países importadores para produtos oriundos dessa região têm permitido aos produtores asiáticos fornecer calçados a preços extremamente baixos em nível global, condição essa que torna praticamente impossível a competição para os demais fornecedores.

Em decorrência desse avanço, empresas antes focadas na produção de itens de menor valor agregado e grandes volumes de produção passaram a buscar novos mercados de maior valor agregado, que se caracterizam por uma maior diversidade de modelos e por lotes de produção muito menores que os até então praticados. Esses mercados eram originalmente abastecidos por produtores localizados na Europa e na América do Norte.

Contudo, esse movimento em direção aos mercados de maior valor agregado não parece ser isento de uma ferrenha competição, haja vista que alguns dos países conhecidos como “novos entrantes” no rol dos exportadores de calçados não têm focado na produção de itens de menor valor agregado, como originalmente se esperava. Essa constatação contraria a lógica até então vigente, qual seja a de que a entrada no mercado exportador deveria sempre se dar por produtos de menor valor agregado (esse foi o caso, por exemplo, do Brasil e da China). Em verdade, alguns desses “novos entrantes” têm focado a produção de itens de maior valor agregado. Para referendar essa observação pode-se citar, como exemplo, o valor médio do par exportado pelo Brasil para os Estados Unidos em 2006 – de US\$ 14,65 – bastante inferior ao auferido por alguns dos “novos entrantes” no rol de produtores de calçados de maior valor agregado. A tabela a seguir apresenta alguns dos valores descritos no sítio do Departamento de Comércio dos Estados Unidos.

**Tabela 1 – Fornecedores atuais dos mercados de maior valor agregado**

País	Preço do Par US\$
Eslovênia	37.79
Romênia	31.36
Polônia	24.62
México	22.52
Índia	14.88

Em decorrência do aumento da concorrência descrita, os produtores brasileiros de calçados estão sendo pressionados a alterar seu posicionamento competitivo como forma de fazer frente à nova realidade competitiva do setor. Entre as ações passíveis de serem orquestradas encontra-se a busca por novos negócios ainda não completamente explorados pelo setor brasileiro. O próximo tópico apresenta alguns desses negócios.

## 1.2 Os Novos Negócios

Admitindo que a pressão competitiva advinda dos países com menores custos totais de produção não venha a ceder ao longo dos próximos anos, e igualmente considerando que “novos entrantes” haverão de se inserir nos mercados de maior valor agregado, seria interessante questionar-se acerca de outros nichos de mercado passíveis de serem ocupados pelas empresas do setor calçadista nacional em nível global. Algumas tentativas de resposta a essa questão são apresentadas a seguir.

### 1.2.1 Afro-americanos

Os lojistas dos Estados Unidos cada vez mais buscam produtos que reflitam os anseios e preferências do mercado afro-descendente, no qual foi verificado um sensível crescimento de renda. A marca de 2,6 bilhões de dólares alcançada pela venda de roupas inspiradas no figurino dos astros da música negra no ano passado nos Estados Unidos dá uma pequena ideia do enorme potencial de consumo desse nicho (Portal Exame 03/05/2007).

No Brasil os dados apresentam os afro-brasileiros como um grande mercado a ser explorado, quer seja em termos de poder de compra (estima-se em 30% da classe média), quer seja em número de consumidores (aproximadamente 44% da população brasileira, segundo dados do IBGE). A revista *Raça* destaca ainda que os afro-brasileiros são cada vez mais conscientes de seu poder de consumo, consciência essa que está fazendo surgir uma ampla gama de produtos exclusivamente voltados para esse público (cosméticos, programas de televisão, músicas, roupas etc.).

### 1.2.2 Geração Y

O termo geração Y designa os consumidores do público jovem adulto americano. Esse nicho é atualmente um dos principais alvos das campanhas de *marketing* de empresas como GM, HP, Samsung, Reebok, Tommy Hilfiger, Apple, Sony e outras.

Dotados de elevado grau de informação, esses milhões de consumidores procuram por produtos que apelem às causas nobres (ecologia ou direitos humanos), a hobbies (*skate, surf* etc.), à música (*hip hop, punk* etc.) e a tantas outras vertentes temáticas, gerando assim uma demanda enorme em termos de mercado.

### 1.2.3 Conforto, ortóticos e ortopédicos

Os calçados e componentes voltados ao alívio ou eliminação de joanetes, dores nas pernas, dores nas costas, esporões, umidade nos pés, dores no joelho e outras tantas mazelas que atingem o ser humano estão se tornando um sucesso de mercado no mundo.

Usualmente apresentados sob a denominação de calçados e componentes voltados ao conforto, esses produtos, conforme dados da WSA ([www.wsashow.com](http://www.wsashow.com)), aumentaram suas vendas em 10% no mercado americano ao longo de 2006. Cumpre destacar que no varejo o preço desses pares de calçados varia entre US\$ 150,00 e US\$ 300,00, montante bastante superior aos demais sapatos que disputam a atenção dos consumidores com maior potencial de consumo.

## 1.2.4 Fast fashion

Empresas do mundo da moda localizadas fora da Ásia têm encontrado dificuldades para competir com os produtos asiáticos que são vendidos em grandes quantidades e a preços bastante reduzidos. Objetivando fazer frente a tal contexto, as empresas da Europa e dos Estados Unidos criaram o conceito de *Fast Fashion*, ou seja, o conceito de moda diferenciada de curta duração (tradução livre). Por moda diferenciada entenda-se: um design digno das melhores marcas com um preço bastante acessível. A lógica que suporta essa nova abordagem é simples:

se não podemos competir em itens de baixo e médio valor agregado vendido em grandes quantidades, então criaremos um novo nicho de mercado marcado pelo design inovador, pelos pequenos lotes (sensação de exclusividade), pelo preço acessível (mas não barato demais) e, principalmente, pela curta vida nas prateleiras.

A curta vida na prateleira pode ser traduzida por algo em torno de 25 coleções/ano, enquanto os preços competitivos no varejo podem resultar da combinação entre proximidade física com os fornecedores (no país de origem ou próximo a este) e redução de desperdícios ao longo da cadeia produtiva.

## 1.3 Limitações da Competitividade Nacional

### 1.3.1 O desafio do “pouco e rápido”

A análise dos elementos anteriormente expostos revela a existência de muitas oportunidades passíveis de serem exploradas pela indústria da moda nacional. Todavia, o aproveitamento dessas oportunidades requer que as empresas nacionais viabilizem uma meta de desempenho do setor de produtos de maior valor agregado, a saber: produzir em pequenos lotes e em reduzido espaço de tempo.

A viabilização da produção em pequenos lotes e em reduzido espaço de tempo pode habilitar a indústria nacional a fornecer, por exemplo, para os importadores americanos de calçados focados em nichos de mercado de menor volume de produção, mas com maiores perspectivas de retorno financeiro. Esse é o caso, por exemplo, dos importadores focados no mercado de conforto, os quais estão cada vez mais buscando adaptar seus produtos às demandas não atendidas do mercado consumidor. Como exemplo pode-se citar o aumento de peso dos cidadãos norte-americanos associado à diversidade étnica existente nesse país (leia-se: diferentes tipos de pés), o que representa um importante filão a ser explorado pela indústria de calçados. Para explorar tal oportunidade foram desenvolvidos sapatos com fôrma diferenciada, ou seja, uma fôrma maior que a normal, algo em torno de 2 a 3mm (isso demanda solados maiores). Esse tipo de fôrma é um sucesso de vendas na maior loja de venda de sapatos via Internet dos Estados Unidos por se adequar perfeitamente ao novo biótipo da mulher média americana, a saber: um pouco mais obesa.

Contudo, observa-se que o Brasil está ficando de fora desse crescente mercado de calçados de pequenos e médios lotes destinados às demandas específicas do consumidor com maior poder aquisitivo. Dentre os motivos apontados merece destaque o fato de que o custo não é o principal entrave à produção desse tipo de produto no Brasil, mas sim o tempo de produção para pequenos lotes. Em alguns casos, o tempo de produção da matriz para a confecção do solado de uma amostra é superior ao tempo total de produção da amostra (calçado) na China. Isto significa dizer que, além do preço, o setor calçadista brasileiro está perdendo agilidade nas etapas de produção, o que é crucial quando se produz moda para mercados de maior valor agregado.

Contudo, não é somente no mercado internacional que o setor enfrenta a pressão pelo 'pouco e rápido'. Na verdade, o mercado nacional também está se segmentando cada vez mais para atender à demanda de grupos de pessoas desejosos de possuir um calçado que se encaixe em suas visões de mundo ou necessidades específicas como, por exemplo, estilo (*surf, skate, golfe, dança, casual de espírito jovem, fashion*); exclusividade; saúde (ortóticos e ortopédicos); conforto (fôrmas especiais para obesos, latinos ou descendentes de europeus) entre outras.

Uma vez apresentados os fatores que têm determinado a competitividade no setor de calçados, pode-se, então, discorrer sobre as *alternativas tecnológicas* que as empresas brasileiras podem considerar para incremento da sua competitividade. Este estudo trata mais especificamente das *tecnologias emergentes* para o setor de calçados, que foram prospectadas pelo Modelo SENAI de Prospecção. O presente trabalho, em cada um de seus tópicos, fará uma exposição das informações coletadas nos diferentes estudos de caso segundo a seguinte estrutura:

- Apresentação da tecnologia de uma forma simples para aqueles técnicos que não estão familiarizados com ela;
- Apresentação dos problemas e realidades apontados por usuários experientes nas tecnologias em foco (conforme será visto, nem todos os problemas estão resolvidos no atual estágio de desenvolvimento de algumas soluções); e
- Apresentação de considerações gerenciais acerca da possibilidade de maximização do retorno operacional e financeiro de algumas das tecnologias de automação (conforme será visto, tão importante quanto a tecnologia é a forma como ela é gerenciada).

Isso posto, espera-se que as informações apresentadas possam auxiliar as empresas do setor a dar início a um movimento que recoloca o Brasil em posição de destaque no contexto mundial da produção de calçados.

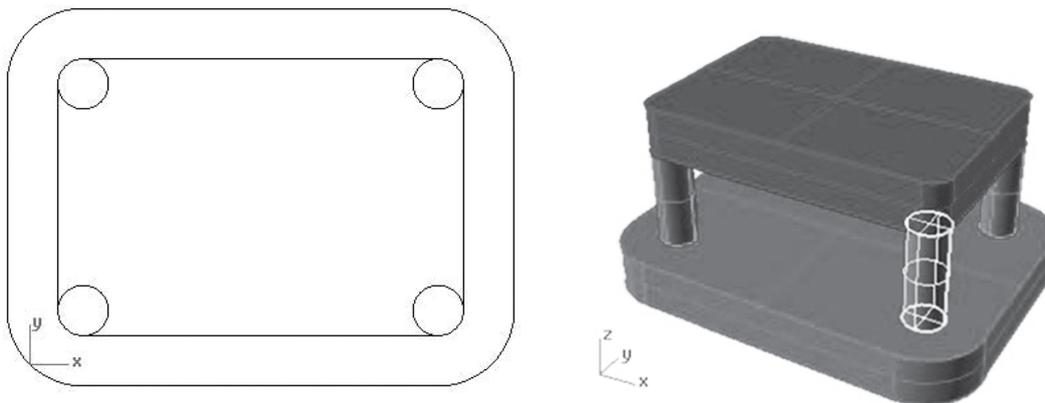
## 2 Sistemas CAD/CAM na matrizaria calçadista

### 2.1 Sistemas CAD

CAD (*Computer Aided Design*) é a denominação dada a uma classe de sistemas de computação utilizada em diversas áreas no auxílio às atividades de projetos e desenhos técnicos. Os sistemas CAD compõem-se, basicamente, de ferramentas para a construção de entidades geométricas e para sua modificação, através de operações simples, como:

- Transformações geométricas (rotações, translações etc.), utilizadas para o posicionamento, ampliações e reduções de medidas;
- Relacionamentos entre elementos, como, por exemplo, a inserção de um chanfro ou um raio de concordância entre linhas ou superfícies; e
- Operações booleanas, como adição e subtração. As operações booleanas são usualmente aplicadas na composição de figuras complexas a partir de elementos mais simples.

A principal característica utilizada para classificar esses sistemas refere-se ao grau de dimensões que eles são capazes de representar. Os sistemas 2D operam em duas dimensões, criando desenhos planos, como vistas ou detalhamentos planos. Com os sistemas 3D, é possível a criação de projetos tridimensionais. Os sistemas 3D são naturalmente uma extensão dos 2D, permitindo a coexistência de entidades tanto bi quanto tridimensionais. A Figura 1 a seguir apresenta projetos em ambos os sistemas.

**Figura 1 – Exemplos de desenhos em sistemas 2D (esquerda) e 3D (direita)**

No contexto de projetos de peças, componentes e equipamentos, denomina-se de modelagem a tarefa de criação dos projetos ou desenhos com ferramentas CAD. A criação desses modelos é feita a partir da criação de modelos matemáticos, internos aos sistemas, que representam de maneira abstrata, objetos concretos (ex. saltos).

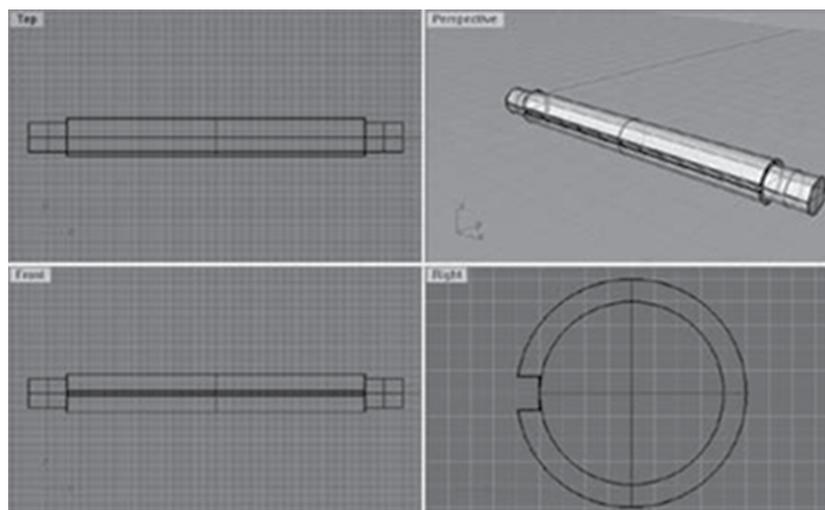
Esses objetos têm suas formas reproduzidas nas ferramentas CAD através de dois métodos básicos: a modelagem direta e a engenharia reversa. Os próximos tópicos detalham cada um desses métodos.

### 2.1.1 Modelagem direta da peça

Na modelagem direta, as formas do objeto são criadas progressivamente, pela inclusão adequadamente ordenada de primitivas gráficas. Essas primitivas são os elementos simples (como, por exemplo, pontos, linhas, polígonos, cilindros e outros sólidos) que serão combinados na criação do modelo. O modelo abstrato vai sendo construído de maneira análoga à de um desenho tradicional, de forma discreta. Quando se modela a partir de um objeto real, as dimensões desejadas são obtidas, direta ou indiretamente, a partir deste objeto.

A modelagem direta tem aplicação principalmente no projeto de peças técnicas, com formas mecânicas simples e onde existem características (*features*) sobrepostas às formas básicas dos objetos modelados (ex. rasgos, chanfros, furos, etc.). A Figura 2, a seguir, apresenta o exemplo de um eixo com um rasgo longitudinal.

Figura 2 – Exemplo de peça técnica, de fácil modelagem direta



Todavia, ao se observar um componente (ex. solado para calçados), vê-se que as diferentes formas nele encontradas são basicamente orgânicas, ou seja, formas que não são tão precisas nem tão simples de definir como as geométricas que compõem um eixo, por exemplo. Isso impede que elas sejam modeladas facilmente com as primitivas geométricas mais comuns (pontos, linhas e polígonos). Isso faz com que seja necessária a modelagem com entidades complexas chamadas *splines* e *NonUniform Rational B-Splines* (NURBS). *Splines* são curvas que são definidas por equações matemáticas e por pontos de controle. As NURBS representam uma melhoria das *Splines*, conhecidas como *Splines Bezier*, permitindo uma representação e manipulação mais eficientes por computadores e profissionais de modelagem.

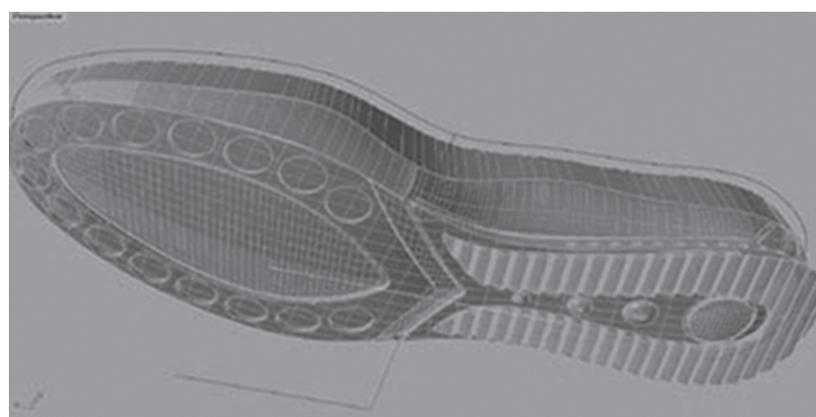
A Figura 3, a seguir, apresenta um solado de calçado com as curvas indicando suas formas orgânicas, enquanto a Figura 4 apresenta um modelo de CAD desse mesmo calçado. A análise de ambas as figuras revela que o solado em foco não pode ser modelado unicamente com base em primitivas

geométricas, haja vista suas especificidades. Assim sendo, na mesma figura são realçadas algumas splines e NURBs., elementos essenciais na modelagem das formas orgânicas que estão presentes no solado.

**Figura 3 – Exemplo de solado de calçados**



**Figura 4 – Modelo CAD do solado da Figura 3**



A predominância destas formas orgânicas complexas no segmento calçadista direciona a escolha de sistemas CAD para calçados que apresentam uma maior facilidade na modelagem deste tipo de forma, fato esse que igualmente se reflete no custo do sistema a ser adquirido.

## 2.1.2 Modelagem apoiada pela engenharia reversa

A modelagem direta de formas orgânicas, anteriormente apresentadas, apesar de comum, é lenta e pode trazer um nível de imprecisão ou incerteza inerente ao fato de ser obtida por um grande conjunto de operações manuais. Além disso, é preciso considerar que a maioria dos desenvolvimentos na indústria da moda é feita com base em esboços gráficos genéricos ou em modelos físicos complexos elaborados pelo *designer*. Em decorrência disso, raras são as especificações do objeto real a ser produzido que incluem descrições geométricas e dimensionais precisas dos elementos a serem utilizados em uma modelagem direta.

Nesse contexto, a engenharia reversa se apresenta como a melhor alternativa atualmente disponível para acelerar a construção de modelos computacionais de CAD que representem o mais fielmente possível as formas orgânicas desejadas, aumentando assim sua qualidade, ou fidelidade ao item idealizado pelo *designer*. Sob o prisma conceitual, a engenharia reversa denomina o processo de “aquisição da morfologia” (formas da peça), ou seja, das formas existentes – em uma determinada peça que se deseja modelar em um CAD – através de processos específicos e automatizados.

Dentre esses processos de aquisição das formas se destaca a digitalização, a qual faz uso de ferramentas específicas para esta atividade, comumente chamadas de escâneres 3D. Essa digitalização produz o que se chama de ‘nuvem de pontos’. Uma nuvem de pontos é um conjunto de pontos espacialmente distribuídos que, em conjunto, representam as formas do objeto digitalizado. É importante notar que os pontos da nuvem obtida definem uma espécie de casca computacional que representa o objeto real modelado. A Figura 5 apresenta um exemplo de nuvem de pontos obtida por digitalização 3D.

**Figura 5 – Nuvem de pontos obtida a partir de uma digitalização**

Uma vez obtida a nuvem de pontos, a mesma pode então ser utilizada diretamente em modelagem mista, expressão que designa a redefinição computacional das superfícies do objeto físico a partir dos pontos digitalizados. Esse processo requer a permanente intervenção do operador do sistema e muitas vezes é bastante demorado.

Para auxiliar o processo de modelagem a partir de nuvens de pontos digitalizados, utilizam-se ferramentas capazes de recriar as superfícies a partir da triangulação dos pontos existentes, de forma automática ou semiautomática. Essas superfícies podem ser aprimoradas, tratadas estatisticamente ou modificadas através da divisão e reagrupamento das diversas superfícies que normalmente compõem a representação de um objeto concreto mais complexo.

Nessas ferramentas, o primeiro passo após a obtenção da nuvem de pontos é sua importação. Os pontos são analisados e tratados estatisticamente a fim de se filtrar alguns pontos que porventura sejam considerados como ruído (leituras errôneas). A seguir, o processo de triangulação localiza conjuntos de pontos contíguos e gera triângulos a cada trio de pontos mais próximos. Os triângulos são contíguos e formam superfícies.

De acordo com as características de cada digitalizador, a qualidade e exatidão na posição dos pontos triangulados podem criar superfícies de

maior ou menor regularidade. Uma das funções normalmente encontradas em sistemas de engenharia reversa é a de suavizar essas superfícies a partir de processos estatísticos.

Quando já se tem a superfície completa desejada, com um nível de qualidade aceitável (que é função do tipo de geometria a ser digitalizada), esta já pode ser transferida para sistemas CAD convencionais. Entretanto, ainda é possível uma etapa adicional, de fracionamento da superfície em pedaços (*patches*), que representam superfícies individuais da peça digitalizada. O fracionamento permite o tratamento de cada superfície de forma individual no CAD e é feito com maior eficiência na etapa de engenharia reversa, em função da existência de toda uma base de pontos de controle e ferramentas estatísticas que permitem inferir os limites existentes entre cada superfície.

A opção entre o fracionamento ou a manipulação da nuvem por inteiro dependerá do processamento posterior a ser dado a ela. Em alguns casos, a nuvem será utilizada diretamente como superfície para a geração de um modelo, sem nenhum tipo de modelagem discreta adicional. Em outros, cada fração (*patch*) será utilizada para criar uma superfície nova no CAD, o que permite sua manipulação da maneira convencional nestes sistemas. No primeiro caso, o processo é semelhante a uma cópia tridimensional.

### 2.1.2.1 Digitalizadores para a engenharia reversa

A expressão “digitalização” designa o processo de captura das informações do modelo físico, complexo, elaborado pelo *designer* e sua imediata transformação em informações que possam ser processadas por programas de computador. Essa operação é realizada em um equipamento denominado digitalizador, o qual é capaz de informar o posicionamento espacial de um conjunto de pontos que definem as muitas superfícies complexas que irão formar o componente (salto, solado etc.) criado pelo *designer*.

Os digitalizadores podem ser classificados quanto ao nível de contato entre partes móveis, a saber: sistemas com e sem contato. O grupo dos sistemas com contato utiliza um elemento móvel (apalpador) que percorre a superfície

do modelo físico transformando as informações de contato em pontos que podem ser lidos por um sistema de CAD, por exemplo. Alguns digitalizadores são dotados de sensores de pressão, de forma que o próprio toque na superfície do modelo pode disparar o processo de aquisição de coordenadas. Outros necessitam de acionamento externo, que pode ser feito por um pedal ou por botões na própria ponteira apalpadora.

O segundo grupo não executa contato físico direto com o modelo em digitalização. Este grupo de equipamentos normalmente utiliza a luz como indicador, podendo empregar um feixe de raios laser, ou mesmo de luz visível convencional. Este feixe é projetado sobre a peça, sendo posteriormente calculada a distância entre ela e o projetor de luz. O cálculo da distância pode ser feito por trigonometria (a partir de ângulos identificados óticamente), por tempo de voo (*time of flight*) do feixe ou por interferometria (um processo que utiliza técnicas físicas avançadas para determinar a distância percorrida pela luz, sem levar em conta o tempo para atingir o alvo, que é extremamente curto e cuja exata aferição é difícil). Outros modelos óticos utilizam a projeção de um padrão conhecido sobre o modelo, e a aquisição se dá pela interpretação das distorções que este padrão sofre sobre o modelo. Considerando que o processo de aquisição precisa ser feito em digitalizadores, o próximo tópico fará uma análise desses equipamentos.

### 2.1.2.2 Seleção de digitalizadores

Em se tratando da seleção de digitalizadores, fatores importantes precisam ser considerados em cada um dos processos e suas implementações, a saber: a precisão passível de ser obtida com o equipamento, o tempo de coleta (que irá determinar a densidade de pontos presentes no modelo digitalizado) e a presença ou não de ângulos de restrição para a leitura, os quais podem dificultar a digitalização de extremidades retas (com pequenos ângulos de concordância) e de paredes profundas. A seguir são apresentadas algumas ponderações importantes no tocante aos fatores descritos.

- A precisão na digitalização é importante, em especial quando se está digitalizando superfícies com muitos detalhes, com texturas ou com

itens construtivos de pequenas dimensões. A falta de precisão pode trazer excessivas distorções à nuvem de pontos, impossibilitando sua reprodução adequada.

- O tempo de coleta da nuvem é um limitador da praticidade do uso da digitalização. Eventualmente pode ser mais eficiente a modelagem manual de alguns modelos, em função dos tempos de digitalização e processamento envolvidos. O tempo de coleta também é função do nível de detalhe necessário, pois a velocidade de aquisição dos pontos pode ser, via de regra, controlada.
- Os ângulos de restrição são resultado do projeto do digitalizador. Em geral, os sistemas que utilizam processos trigonométricos necessitam da disposição de câmeras ou *scanners* de linha (*line scanners* – detectores especiais que possuem apenas uma sequência linear de sensores óticos) em um arranjo espacial que inclui um ângulo suficiente para proporcionar a resolução pretendida. Entretanto, este mesmo ângulo irá determinar zonas de “sombra”, nas quais a aquisição não será possível porque o feixe de luz estará oculto por detalhes do próprio modelo.
- A regularidade na nuvem de pontos digitalizados irá influenciar na qualidade do processo de triangulação mencionado anteriormente. Por isso, quando se usam processos de aquisição por toque, com controle manual, há uma irregularidade excessiva nos pontos coletados, dificultando a geração automática de superfícies. Essa classe de digitalizadores é normalmente utilizada na modelagem manual, servindo os pontos coletados como pontos de controle para a modelagem discreta.

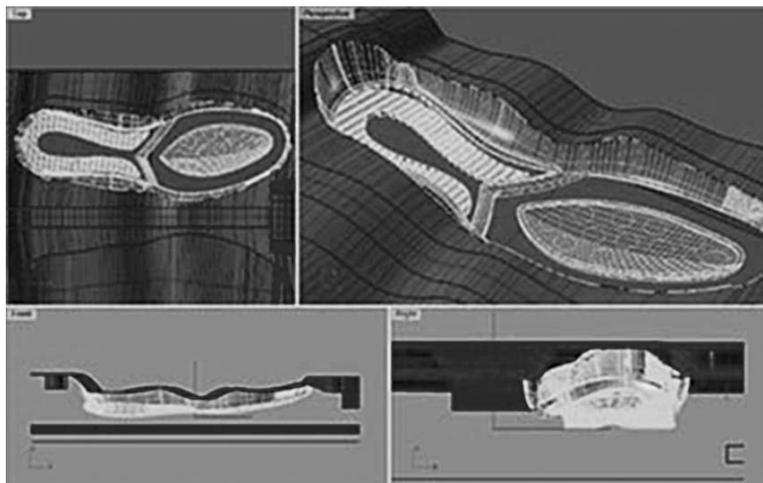
Atualmente os digitalizadores que apresentam os melhores resultados, sob a visão deste conjunto de características, são os que usam interferometria. Este processo não apresenta ângulos que acarretam zonas de sombra, tem altíssima precisão (na ordem de centésimos de milímetros), muito boa regularidade na formação da nuvem de pontos e, através do controle adequado da velocidade de aquisição, podem ter uma velocidade de digitalização dentro dos limites desejados.

### 2.1.3 Modelagens adicionais

Uma vez modelado computacionalmente o objeto real a ser produzido, deve-se então partir para a sua inserção computacional no bloco de matéria-prima que representará o molde de corte, injeção ou conformação a ser utilizado para a produção do objeto real em análise.

Para tanto é necessário que se modele também a ferramenta (bloco de matéria-prima, ou *blank*) que conterà o modelo do objeto real a ser produzido. Essa etapa da modelagem é razoavelmente simples, visto que os *blanks* de matéria-prima geralmente possuem formas simples (retangulares). Essa condição facilita sua modelagem a partir do emprego de primitivas simples, como, por exemplo, linhas, polígonos etc. A Figura 6, a seguir, apresenta um modelo computacional de um molde para solado de calçados.

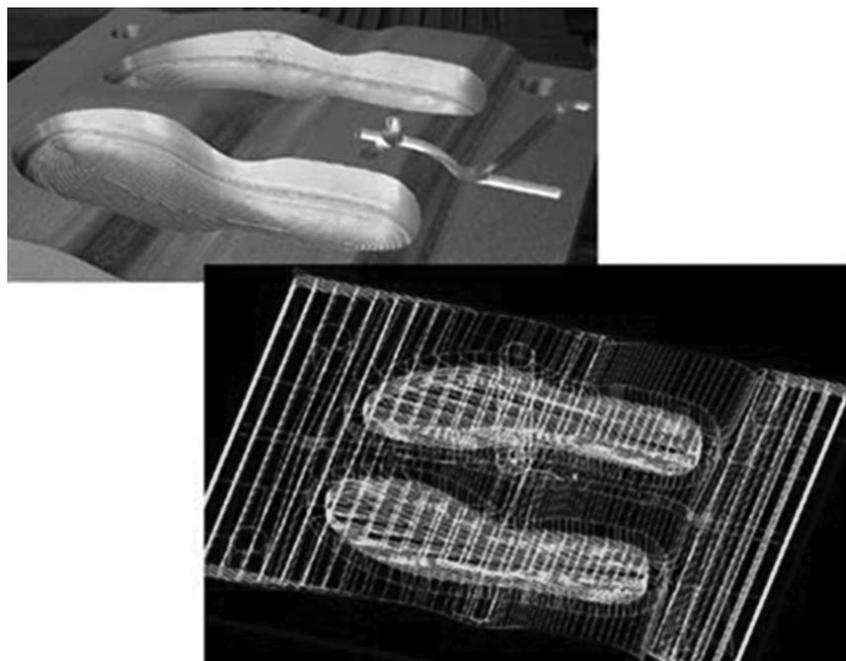
**Figura 6 – Modelo computacional de um molde para solado de calçados**



Esta modelagem do molde pode ser realizada dentro do mesmo sistema utilizado para a modelagem do solado ou em sistemas diferentes, capazes de importar a superfície gerada nos sistemas anteriores, mas que podem apresentar características mais adequadas para este tipo de atividade. Algumas etapas ainda poderão ser modeladas durante o processo de programação CAM, como será visto mais à frente.

Obtidos os modelos computacionais que definem o objeto real a ser produzido e o molde a ser utilizado, pode-se então iniciar a definição do processo de fabricação do molde. Para tanto são utilizados os sistemas de CAM, os quais são apresentados na sequência. A figura a seguir apresenta os modelos do objeto e do molde a serem enviados ao sistema de CAM.

**Figura 7 – Molde e respectivo modelo CAM**



#### **2.1.4 CAD na matrizaria: limites atuais**

Apesar de haver uma grande quantidade de sistemas de modelagem CAD em oferta no mercado de soluções computacionais, as empresas do setor utilizam apenas um pequeno grupo desses sistemas. Este grupo foi se consolidando a partir da solução dos problemas inerentes à modelagem de matrizes. Inicialmente, os sistemas eram compostos apenas por modeladores de superfícies, sendo posteriormente complementados por sistemas baseados em NURBS com vistas ao atendimento das demandas das matrizarias.

Dentre as funcionalidades adicionais que foram sendo agregadas aos sistemas, pode-se destacar o *morphing* (técnica de deformação controlada), a

concordância, análise e suavização de superfícies irregulares, além de funções para criação de moldes, eletrodos etc. Com efeito, essas funcionalidades são essenciais na qualificação do processo criativo do componente, o qual abarca as etapas de modelagem na indústria, aprovação pelo lojista/distribuidor da maquete virtual ou da amostra física e alteração no projeto. Vale a pena destacar que é bastante comum a repetição das referidas etapas (algumas várias vezes) até que o cliente autorize a fabricação do produto. Assim sendo, o modelo precisa, não raro, ser retrabalhado inúmeras vezes, o que agrega custos e atrasos indesejados ao processo.

A existência de sistemas híbridos, mesclando características de sistemas associativos e de modelagem de formas orgânicas, contribuiria para a melhoria do ciclo descrito, especialmente no que tange à possibilidade de parametrização dos diferentes elementos que compõem um modelo computacional. A associatividade do sistema permitiria a automação do projeto e dimensionamento de moldes. Desta forma, alterações realizadas sobre o modelo iriam requerer apenas a recriação automática dos elementos parametrizados, facilitando assim o trabalho do projetista.

Cumprido destacar que existem ferramentas de caráter puramente associativo no mercado, as quais já são aplicadas ao modelamento de solados. Contudo, esses sistemas, por não possuírem toda a funcionalidade da modelagem de superfícies orgânicas, têm seu uso limitado a alguns tipos de solados. Ainda há que se considerar a curva de aprendizagem dessas ferramentas (que pode ser maior, no caso de modelagem de formas orgânicas) e o tempo adicional que a própria modelagem associativa pode exigir.

A digitalização e a engenharia reversa, por sua vez, vieram preencher uma lacuna entre a modelagem física, tradicional, e a modelagem digital. Com sua utilização, podem-se fazer alterações, ou mesmo a criação original, em um modelo físico e concreto, que, após digitalizado, produzirá um novo modelo virtual, que será enviado ao CAD para modelagens adicionais, culminando com um modelo digital e abstrato. Mas como este tipo de modelagem é baseado em nuvens de pontos, a modelagem associativa torna-se extremamente difícil, porque os componentes originais (primitivas gráficas) não são interpretados em uma nuvem de pontos – apenas a superfície resultante pode ser reconhecida. Por isso, as possíveis alterações são feitas com o auxílio da “deformação”

(*morphing*<sup>1</sup>). Assim, associada ao emprego de digitalização e engenharia reversa, temos a deformação, que se torna o complemento mais indicado.

O emprego de deformações (*morphings*) é prática comum, mas tem limitações em função de deformar também elementos que não deveriam ser deformados. Assim, círculos se tornam elipses, textos e outros detalhes não preservam seu aspecto etc. Hoje esses elementos precisam ser refeitos após um *morphing*, e a existência e o emprego de sistemas associativos poderia automatizar essas etapas, através da utilização de características (*features*) para representar estes elementos, que poderiam ser automaticamente refeitos após o *morphing* da superfície original.

Existem também problemas no processo de digitalização. Não raro se produzem falhas nas nuvens de pontos produzindo distorções diversas. Outra deficiência da digitalização está no reconhecimento de características (*features*) ou mesmo de primitivas gráficas da peça digitalizada. Esta deficiência prejudica a modelagem associativa, em que se reproduzem algumas construções características, como furações, rasgos e canais, através de primitivas simples, como cilindros, linhas e polígonos. O processo de reconhecimento desses elementos é manual e interativo, e no caso de alterações do modelo físico ou da nuvem de pontos, deve ser feito pelo modelista ou operador CAD.

A consideração conjunta desses elementos revela que os sistemas atualmente em uso ainda carecem de certo aperfeiçoamento, não obstante o grande avanço que trouxeram para o setor calçadista. Nesse contexto, cresce em importância o papel do projetista, especialmente para aqueles casos em que se fazem necessárias diversas alterações no modelo computacional de peças complexas.

---

<sup>1</sup> O *morphing* constitui-se de uma forma de deformação controlada de uma ou mais superfícies. O controle dessa deformação pode ser feito com o uso de curvas adicionais ou mesmo de outras superfícies. Dentre os resultados que podem ser obtidos, ressalta-se a expansão ou contração (conhecida como escala) e a alteração de contornos, como a alteração da forma utilizada para o solado.

## 2.1.5 Considerações gerenciais

A utilização dos sistemas de CAD no projeto e na definição dos processos de fabricação de componentes para calçados requer não somente a consideração dos elementos descritos anteriormente, mas, principalmente, a atenção gerencial para alguns elementos que podem determinar uma maior ou menor produtividade das ferramentas em questão. Dentre esses elementos cumpre destacar:

- O nível de domínio, por parte dos projetistas, sobre as diferentes ferramentas tecnológicas utilizadas pela empresa para a modelagem do componente; e
- A prévia formalização de critérios e parâmetros para a redefinição das superfícies a partir dos pontos digitalizados.

No que se refere ao domínio das ferramentas, os gestores devem atentar para o processo de aperfeiçoamento de seus colaboradores (em todos os níveis de conhecimento). Esse aperfeiçoamento envolve a participação da equipe de projetistas em cursos e simpósios de discussão específicos da área. Além disso, uma eventual auditoria externa nos métodos da empresa e no nível de competência dos colaboradores pode contribuir, e muito, para o aumento da eficiência dessas ferramentas.

Todavia, é preciso aqui considerar a pouca oferta desse tipo de serviço fora dos limites de atuação dos representantes de *software*, situação que pode estar a demandar uma ação conjunta das empresas com vistas à estruturação desses mesmos serviços.

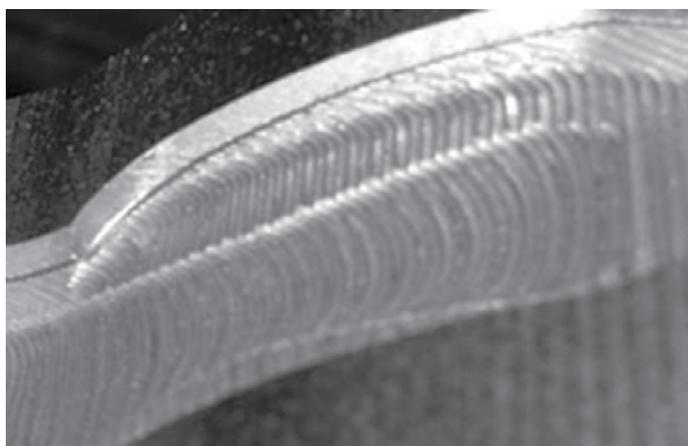
## 2.2 Ferramentas CAM

### 2.2.1 Apresentação das ferramentas CAM

A Manufatura Assistida por Computador, ou *Computer Aided Manufacturing* (CAM), é a denominação atribuída a sistemas computacionais que auxiliam na programação dos movimentos que serão posteriormente executados por máquinas numericamente controladas (equipamentos dotados de Controles Numéricos Computadorizados (CNC), como centros de Usinagem e máquinas de eletroerosão). Essa programação inclui a escolha das melhores estratégias de usinagem e o controle dos parâmetros envolvidos, como velocidades, acelerações e níveis de acabamento. A estratégia de usinagem basicamente define o desempenho com que uma operação de usinagem será realizada.

Na matrizaria calçadista, as máquinas numericamente controladas são empregadas para a execução de operações de desbaste e acabamento. O desbaste consiste em uma grande remoção de material da peça usinada sem um maior compromisso com a superfície gerada. Para esse tipo de operação os programas CAM otimizam a geração do percurso da ferramenta de forma a reduzir ao máximo o tempo de corte (respeitadas as especificidades do material e do conjunto máquina/ferramentas). A Figura 8 a seguir apresenta um molde para calçados após a operação de desbaste de usinagem.

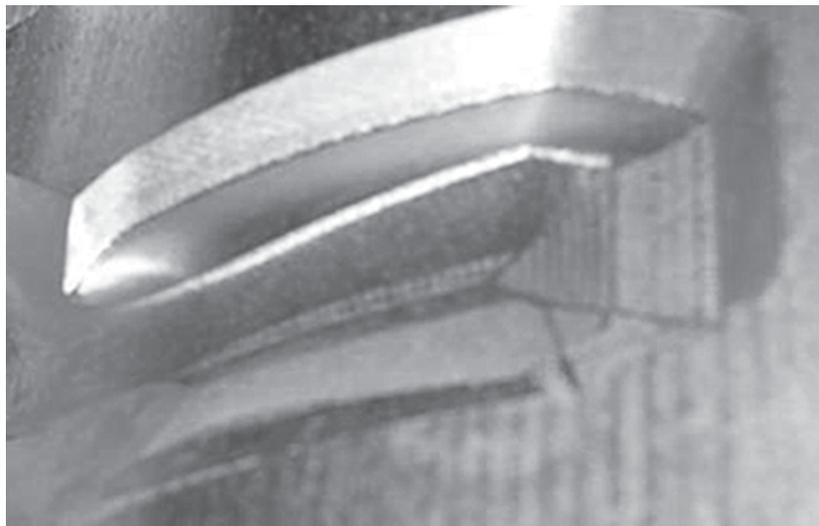
**Figura 8 – Superfície gerada por uma operação de desbaste<sup>2</sup>**



<sup>2</sup> As ondulações são decorrentes da forma da ferramenta e do ângulo entre esta e a superfície usinada.

No acabamento é feita a remoção do material residual deixado pela operação de desbaste, sendo que a superfície resultante deverá ser a mais aproximada possível da superfície desejada. Para tanto são utilizadas acelerações menores e velocidades mais constantes, com o mínimo de desvios nas trajetórias das ferramentas de forma a reduzir a quantidade de ondulações (rugosidades) na superfície em fabricação. A Figura 9 a seguir apresenta um molde de calçados após a operação de acabamento de usinagem.

**Figura 9 – Resultado do acabamento na superfície do molde da Figura 8**



### 2.2.2 Modelamento em sistemas CAM

Conforme visto anteriormente, no ciclo CAD/CAM as etapas de manufatura (CAM) somente ocorrem após a finalização da modelagem da peça a ser produzida no CAD. Na etapa de modelagem de CAD, o projetista busca atender as especificações feitas pelo *designer*. Entretanto, não se descarta a necessidade eventual de interação entre as duas etapas. Em alguns casos é necessário que o projetista igualmente conceba em seu modelo de CAD alguns elementos adicionais que posteriormente serão requeridos na etapa de concepção da fabricação (etapa do CAM), como, por exemplo, as superfícies externas (paredes) do molde, sua(s) superfície(s) de fechamento, a posição de logotipos a serem eletroerodidos e a dinâmica de possíveis partes móveis. Contudo, nem sempre é possível a determinação prévia de todos estes

componentes e, por isso, em determinadas peças, o projetista de CAM precisará modelar elementos adicionais aos do simples projeto da superfície da cavidade da peça. É a chamada modelagem de processo.

No caso das maquetes usinadas, a modelagem de processo é um pouco mais simples, enquanto no caso dos moldes para fabricação é um pouco mais complexa. Isso por que, em se tratando de maquetes usinadas (modelos físicos do produto final destinados à visualização e ao manuseio a mão livre pelo projetista ou *designer*), a usinagem envolve apenas a superfície externa da peça, de forma que possa ser utilizada para aprovação do modelo computacional e, por conseguinte, do molde a ser confeccionado. A Figura 10 a seguir apresenta um exemplo de uma maquete usinada.

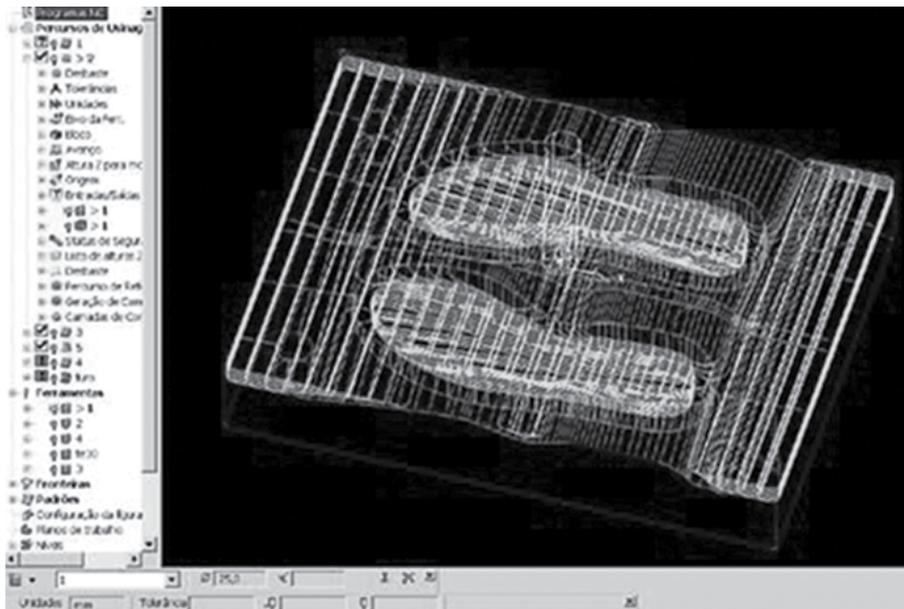
**Figura 10 – Exemplo de uma maquete usinada**



Uma vez aprovada a maquete usinada pelo cliente, pode-se então dar início à etapa de produção industrial do molde que será utilizado na fabricação de solados. Para tanto será necessário incluir no modelo computacional do CAM informações adicionais, como, por exemplo, dimensões externas do molde, elementos de fixação do bloco de matéria-prima e outras características funcionais específicas de cada ferramenta. A combinação dos elementos anteriormente listados afeta o modelamento do CAM, condição essa que requer uma permanente interação entre os profissionais responsáveis pelo processo de fabricação e pela produção do molde. Nesse contexto, os elementos de fixação, por exemplo, passam também a fazer parte do modelo computacional com o objetivo de evitar futuras colisões entre a ferramenta de corte e os elementos de

fixação do bloco de matéria-prima. A Figura 11 a seguir apresenta um modelo de CAM completo para uma operação de fresamento, mostrando os movimentos programados para uma operação de desbaste (em amarelo), indicando também o material a ser removido por esta operação.

Figura 11 – Modelo CAM completo



A partir do modelo computacional do molde é, então, gerado o programa CNC, que é enviado para as máquinas automáticas, classificadas como CNC (Comando Numérico Computadorizado, ou *Computerized Numeric Control*). Estas máquinas possuem componentes de movimentação acionados e controlados por sistemas eletrônicos precisos, capazes de garantir a execução das seqüências de movimentos programados em sistemas CAM. As características específicas das máquinas CNC irão determinar o tipo de usinagem que estas serão capazes de realizar, bem como os limites operacionais a serem respeitados pelos sistemas CAM na geração dos programas contendo as seqüências de movimentos que as mesmas irão realizar.

Parâmetros importantes para a classificação de máquinas CNC incluem, entre outros:

- **O número de eixos controlados** (variando normalmente entre três e cinco eixos) – quanto maior o número de eixos controlados simultaneamente em movimento de corte, maior a flexibilidade produtiva do equipamento;
- **As velocidades e acelerações possíveis** – esses parâmetros influenciam o tipo de operação passível de ser executada;
- **As amplitudes dos movimentos** (comprimentos úteis de cada eixo) – definem os limites da matéria-prima a ser usinada;
- **A capacidade de movimentação de material ou de esforços realizados** por ferramentas e a velocidade e potência disponíveis especificamente nas ferramentas de corte.

## 2.2.3 Aspectos técnicos adicionais

### 2.2.3.1 Acabamento “manual”

Na produção de moldes para componentes de calçados, as operações de acabamento fino são, em geral, feitas manualmente, uma vez que essa é a maneira mais econômica e rápida de se obter uma menor rugosidade superficial. Esta rugosidade resulta do material não removido por uma dada ferramenta em uma operação de usinagem. Este material se apresenta como uma ondulação na superfície recém usinada, portanto não sendo nela desejado.

A remoção dessa rugosidade com usinagem CNC é demorada, demandando operações consecutivas. Cada nova passagem de uma ferramenta de acabamento gera uma nova ondulação, de menor amplitude, que será removida por uma passagem adicional posterior, até que a rugosidade remanescente atinja uma dimensão aceitável.

Assim sendo, a usinagem manual, com o emprego de ferramentas de pequeno porte, mas de maior alcance e velocidade, permite a remoção dessa ondulação em tempos menores.

Desta forma, o tempo de produção de peças usinadas em equipamentos CNC é determinado principalmente por operações de desbaste. O emprego de ferramentas de corte apropriadas, com velocidades e avanços bem dimensionados (em função das características destas ferramentas) permite que se reduza o tempo de fabricação das matrizes.

### 2.2.3.2 Estratégia dos ciclos de desbaste

A estratégia de desbaste é outro fator determinante para a redução do tempo de usinagem. Algumas estratégias são mais apropriadas para executar certas operações. Um desbaste, por exemplo, pode ser feito por movimentos de avanço em apenas um eixo, com um deslocamento perpendicular ao final de cada movimento, ou pode ainda ser feito através do *offset* de um contorno, movimentando-se dois eixos da máquina de cada vez.

Os sistemas CAM oferecem estratégias de desbaste muito parecidas entre si quando apresentadas na tela. Contudo, as operações de usinagem resultantes dessas estratégias podem variar significativamente de um sistema a outro, em especial as estratégias que envolvem movimentos mais complexos. O resultado dessas variações pode ser observado em um maior ou menor tempo de execução das operações.

Outra diferença importante entre os sistemas CAM é a possibilidade ou não de automatização de atividades. A presença de linguagens de execução de macros ou a aplicação de um mesmo conjunto de parâmetros e sequência de operações aos diversos tamanhos de uma coleção de moldes permite a rápida criação dos programas para os equipamentos CNC.

### 2.2.3.3 Os equipamentos CNC

O número de eixos que acionam simultaneamente uma ferramenta em operação de corte é uma limitação importante a ser considerada pelo responsável pelo processo de usinagem na definição do equipamento CNC que fará a usinagem (a maioria dos equipamentos permite a usinagem em apenas três eixos). Um menor número de eixos (ex.: três) limita o posicionamento das ferramentas de usinagem, uma vez que essas não podem sofrer inclinações diferentes de suas inclinações iniciais. Com efeito, a possibilidade de inclinação da ferramenta permite que se façam desbastes mais eficientes no que tange à remoção de material. Como exemplo do exposto, cite-se que o posicionamento da ferramenta perpendicularmente à operação de trabalho otimiza a remoção de material, bem como facilita a usinagem de negativos (nome dado às concavidades laterais presentes em algumas superfícies modeladas). Assim sendo, pode-se dizer que quanto maior o número de eixos passíveis de serem programados simultaneamente em operação de corte, maior a possibilidade de se inclinar a ferramenta durante a usinagem, inclinação essa que permite uma melhor condição de operação.

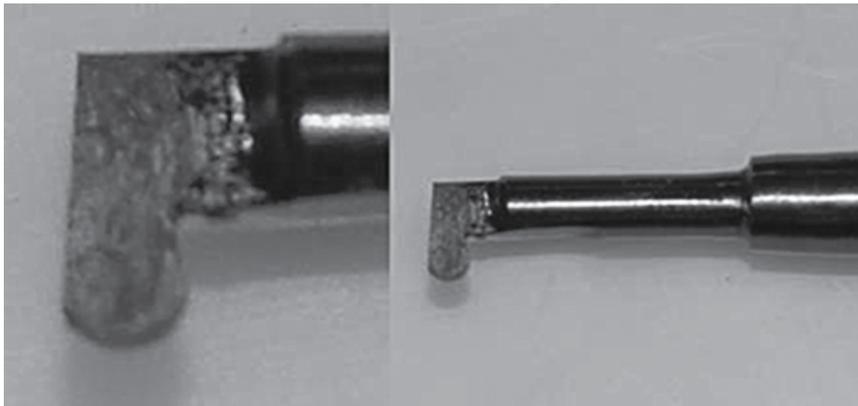
### 2.2.3.4 Ferramentas e máquinas

A execução de usinagem em equipamentos com restrição no número de eixos acaba por gerar uma rugosidade remanescente indesejada, a qual também pode ser influenciada pela geometria da ferramenta de corte empregada. Nas usinagens em superfícies convexas, ferramentas de topo esférico criam grande quantidade de rugosidades, enquanto ferramentas de topo reto geram menos rugosidade quando tangenciam a superfície que está sendo usinada. A combinação do perfil da ferramenta com o número de eixos é de suma importância, posto que máquinas com apenas três eixos não podem tangenciar as superfícies não-coplanares ao eixo árvore, ao passo que máquinas de cinco eixos podem tangenciar continuamente as superfícies usinadas sem formar rugosidade.

A limitação dos equipamentos, anteriormente descrita, pode ser contornada, em alguns casos, mediante o emprego de certas abordagens. Por exemplo, para o caso dos negativos (regiões que apresentam ângulos tais que não possam ser

usinadas com ferramentas comuns, normalmente maiores do que  $90^\circ$ , como concavidades laterais), é comum o emprego de ferramentas especiais, com arestas de corte lateral. Essas ferramentas podem remover o material das concavidades, dentro de certos limites. A Figura 12 a seguir mostra uma ferramenta de corte especial utilizada para usinagens de pequenas concavidades.

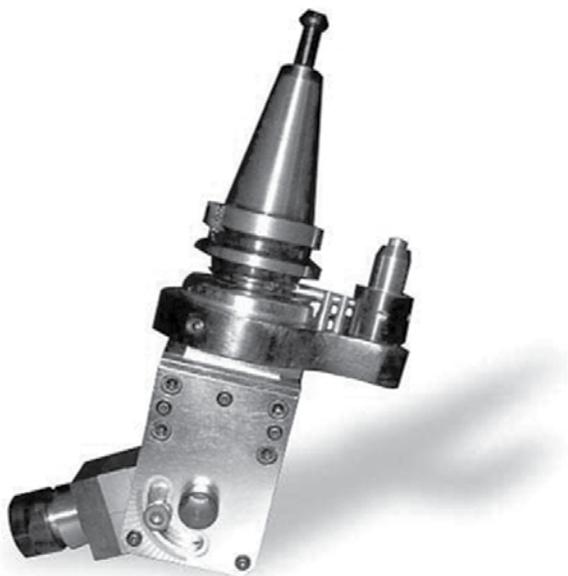
**Figura 12 – Ferramenta de corte lateral, com detalhe ampliado à esquerda**



A usinagem normal à superfície é substituída pela usinagem com ferramentas de topo esférico, as quais, entretanto, não apresentam o mesmo rendimento em termos de remoção de material que uma ferramenta de topo reto e produzem a rugosidade mencionada. A não-observância desses parâmetros pode comprometer significativamente a produtividade do equipamento e, por consequência, da empresa.

### **2.2.3.5 Acessórios para a usinagem**

Outra abordagem para suprir a falta de máquinas de cinco eixos é a utilização de acessórios de usinagem que se comportam como o quarto ou quinto eixo indexado do equipamento CNC. A adoção desses acessórios permite que um centro de usinagem de três eixos seja utilizado para a usinagem de peças que são rotacionadas em torno de um ou dois eixos. Apesar de não apresentar a mesma funcionalidade da usinagem a cinco eixos contínuos, a solução em foco permite obter peças complexas que não seriam obtidas com a usinagem convencional a três eixos. A Figura 13 a seguir ilustra um desses acessórios.

**Figura 13 – Cabeçote com quatro e cinco eixos**

#### 2.2.4 Visão técnica sistêmica

As formas dos solados determinadas pelo *designer* podem determinar a opção por um determinado tipo de equipamento CNC e/ou sistema CAM para a confecção do molde do solado. Conforme visto, tanto o número de eixos disponíveis quanto o emprego de ferramentas e acessórios pode, em alguns casos, expandir a capacidade produtiva dos equipamentos CNC na usinagem de superfícies mais complexas.

Assim, a usinagem de um molde para solados simples (que não apresentem negativos em suas paredes internas) pode ser feita em um centro de usinagem CNC convencional, com apenas três eixos, que atenda às necessidades de potência e velocidade para o material usinado. Por outro lado, moldes para solados de tênis e outros calçados esportivos, que podem apresentar maior riqueza de detalhes ou adornos, podem ser muito difíceis de produzir em centros de usinagem convencionais de três eixos que não contem com ferramentas especiais, usinagens com rotação indexada da peça, cabeçotes especiais etc.

As estratégias de usinagem desempenham um papel extremamente importante no desempenho de máquinas CNC. De fato, a escolha dessas estratégias, associada à escolha das ferramentas adequadas e ao emprego das velocidades ideais para estas ferramentas, determina o tempo necessário para a execução dos programas CNC, tanto para desbaste quanto para acabamento.

### 2.2.5 Considerações gerenciais

As acelerações e velocidades de corte das diferentes operações de usinagem executadas por uma máquina CNC são usualmente definidas no planejamento dos caminhos da ferramenta na etapa do CAM. Os valores desses parâmetros foram estipulados pelo fabricante da ferramenta para uma operação de corte genérica, fato esse que suscita especulações sobre a possibilidade de otimização dos valores dos parâmetros. A definição de parâmetros mais otimizados refletirá na produtividade de cada operação de corte, bem como nos custos finais do molde em fabricação. Nesse sentido, urge que os gestores de produção atentem permanentemente para os valores definidos para cada operação de corte, haja vista que esses valores podem determinar aumentos de produtividade significativos. Contudo, cumpre aqui destacar que a otimização dos parâmetros de corte deverá estar sempre condicionada à observação das características do conjunto ferramenta, máquina, elementos de fixação e peça.

Em adição aos parâmetros de corte, faz-se necessário também observar as estratégias de usinagem definidas na etapa do CAM, pois elas podem influir significativamente no tempo total de produção de um molde para a indústria calçadista.

Os gestores também deverão se certificar de que informações como dimensões externas do molde, elementos de fixação do bloco de matéria-prima e outras características funcionais específicas foram corretamente modeladas no CAD e programadas no CAM, visto que correspondem aos elementos que efetivamente serão utilizados na produção do molde. A não-observância desses elementos pode introduzir paradas produtivas indesejadas e onerosas no processo de fabricação.

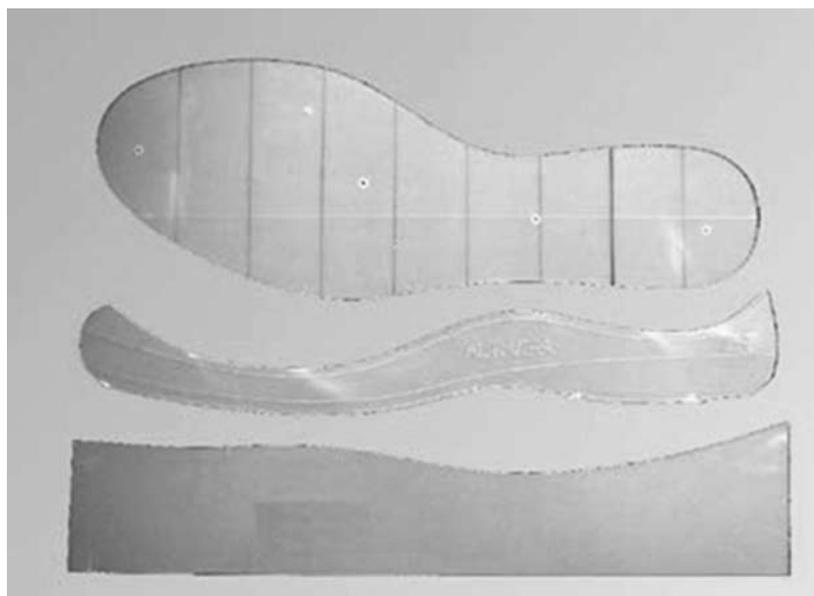
Por fim, porém não menos importante, tem-se a questão do gerenciamento dos tempos de preparação dos equipamentos, os quais nem sempre são monitorados no ambiente das ferramentarias (especialmente em função da cultura vigente no setor). Com efeito, a alocação de um equipamento CNC em um ambiente climatizado não o dispensa da busca permanente pela redução dos tempos improdutivos (entre outros, os decorrentes da preparação do equipamento). Apesar de simples, essa regra parece relegada em muitas empresas, gerando redução de sua eficiência.

A análise dos elementos anteriormente expostos aponta para a necessidade de os gestores de produção virem a se envolver mais com a organização de programas de treinamento e atualização de seus profissionais, com a definição de procedimentos operacionais e com a estruturação de fóruns de discussão internos e externos à empresa. Além disso, sugere-se que esses gestores busquem desenvolver programas conjuntos com instituições que dão suporte ao setor com o objetivo determinar limites e abordagens mais adequados para cada alternativa técnica e/ou gerencial.

## 2.3 O Ciclo CAD/CAM

### 2.3.1 A etapa do CAD

Uma boa modelagem CAD (de um solado, por exemplo) tem início na fase de concepção do produto pelo *designer*. Esta etapa fornece importantes subsídios para a modelagem CAD, como, por exemplo, restrições de projeto; escolha de texturas para o produto; posicionamento de elementos complementares, tanto estilísticos – como adornos – quanto de identificação e produção – como carimbos, logotipos etc. Alguns dos produtos intermediários desta etapa são conjuntos de padrões, em papel ou plástico, que serão utilizados como elementos de controle para a modelagem (chaplonas e perfis), e durante as operações de usinagem e acabamento servirão de gabaritos para conferência. A Figura 14 a seguir apresenta alguns desses elementos.

**Figura 14 – Exemplos de chaplonas, perfis e gabaritos**

Após estas definições iniciais, ou de pelo menos um subconjunto delas que permita o início das demais atividades, inicia-se a modelagem. Conforme visto, o processo de modelagem pode ser direto – onde o modelador reproduz as especificações fornecidas para o produto a partir do traçado de entidades elementares – ou a partir de engenharia reversa, com o emprego de escâneres 3D, ou de um misto das duas técnicas.

O processo de modelagem direta geralmente tem início com a criação da superfície básica do solado, à qual são adicionados computacionalmente os adornos e demais características. No caso da engenharia reversa, ou seja, quando se empregam modelos digitalizados por escâneres 3D, o nível de detalhamento das informações de superfície obtidas na etapa de digitalização determina se o modelo digitalizado pode ser utilizado diretamente nas etapas seguintes ou se precisará de alguma reconstrução. Quando a reconstrução do modelo digitalizado é necessária, um subconjunto de componentes do solado (como adornos, logotipos etc.), ou eventualmente o conjunto completo de todos estes componentes, é reconstruído com as operações da ferramenta de modelagem CAD, de forma análoga à modelagem direta. Apesar da necessidade desse retrabalho, cumpre destacar que o emprego de modelos obtidos por engenharia reversa reduz o tempo requerido para a modelagem direta, posto que possuem maior facilidade de posicionamento sobre a superfície básica do

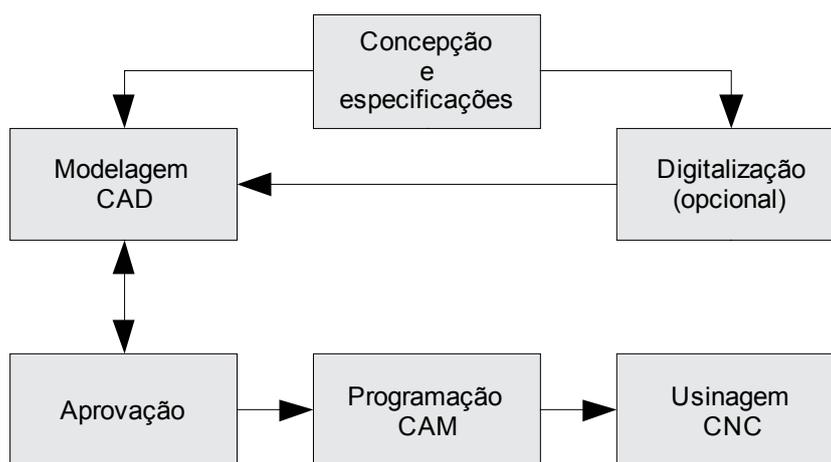
solado que se pretende modelar. A combinação desses dois elementos configura o contexto de modelagem mista anteriormente apresentada.

Independentemente do tipo de modelagem a ser utilizada, há que se considerar ainda a complexidade do solado, a qual poderá influenciar no tempo do ciclo da modelagem. Solados complexos podem demandar diversas alterações, que precisam ser aprovadas pelo contratante, não sendo raros os casos em que o próprio contratante requer alterações no modelo após um dado pedido de aprovação.

A dinâmica descrita pode redundar em custos adicionais para o executante da modelagem, uma vez que algumas alterações podem demandar muitas horas de trabalho de um projetista. Considerando que as ferramentas CAD para solados são, em sua maioria, baseadas em modeladores de superfície, cada etapa de alteração é de difícil execução, bem como pode demandar profundas reconstruções nas superfícies afetadas. Em verdade, alterações mais profundas podem determinar até mesmo a reconstrução total do modelo.

Após a aceitação do modelo CAD, que pode ser oficializada de diversas formas, o modelo é liberado para a confecção do molde. O fluxograma a seguir descreve o processo em foco.

**Figura 15 – Fluxograma do ciclo CAM/CAM de modelagem**



### 2.3.2 A etapa do CAM

Os modelos de CAD aprovados passam à etapa seguinte, que representa a montagem digital do molde (no caso de uma ferramenta para solados). Nesta etapa, o modelo do solado é posicionado dentro do volume do molde (matéria-prima). As linhas de fechamento (definidas pelas superfícies de contato entre cavidade e tampa) são aplicadas ao modelo do solado, e este é dividido de acordo com o que for apropriado para o solado em questão. A Figura 16 a seguir apresenta a tampa de um molde com sua linha de fechamento, realçada, na lateral superior. O fechamento acompanha o perfil do solado (em realce, no interior da tampa).

Figura 16 – Tampa de molde



Alguns moldes de solados têm a linha de fechamento no seu topo, e com isso, todo o volume do solado estará contido na cavidade do molde. Outros têm a linha acompanhando algum componente do solado e, nestes casos, o volume estará parcialmente contido na tampa do molde. Essa característica determina a necessidade de acabamentos posteriores e mais elaborados nas tampas do molde (tampas complexas) ou as dispensam totalmente (tampas mais simples).

Outra característica importante do fechamento é que sempre se procura ocultá-lo ao máximo. Como ele implica uma descontinuidade da superfície do solado, pode deixar marcas visíveis nas unidades posteriormente produzidas.

A escolha da posição do fechamento do molde é determinada pela facilidade de extração do solado, após sua injeção, e pela presença de componentes capazes de ocultar sua presença. Quando é necessário o seu posicionamento em solados sem componentes capazes de ocultá-lo, o resultado é o aparecimento de linhas produzidas por material que se infiltra entre a cavidade e a tampa. Contudo, essa linha de material pode ser parcialmente reduzida com a melhoria do ajuste entre essas etapas.

Após a criação do molde, com todos seus detalhes, como fechamento, furações e rasgos para encaixes, passa-se ao processo CAM propriamente dito. A definição das operações de usinagem, sua ordem e parâmetros operacionais constituem-se nos elementos que determinam a qualidade e a agilidade do trabalho em processamento. Para tanto são empregadas diferentes estratégias e ferramentas de corte a fim de remover material do bloco, que foi previamente preparado. Assim, cada operação de usinagem recebe um conjunto de parâmetros que irão especificar o que fazer, como fazer (parâmetros de corte), com que fazer (ferramental utilizado) e onde fazer (com a delimitação de áreas). A escolha das estratégias de usinagem é efetuada para cada operação principalmente de acordo com o resultado esperado da operação e o volume de material a remover. A escolha das estratégias é feita pelo técnico de CAM.

O processo termina com a geração de arquivos contendo sequências de comandos em linguagem ISO (também conhecida como G-code), que serão transmitidas às máquinas CNC na sequência determinada pelo programador CAM.

### **2.3.3 Fabricação**

A fabricação do molde tem sua primeira etapa física no processo de usinagem. Neste processo, máquinas com Comando Numérico (NC) executarão sequências de comandos, como seleção de ferramentas e movimentação, especificadas em programas armazenados em arquivos.

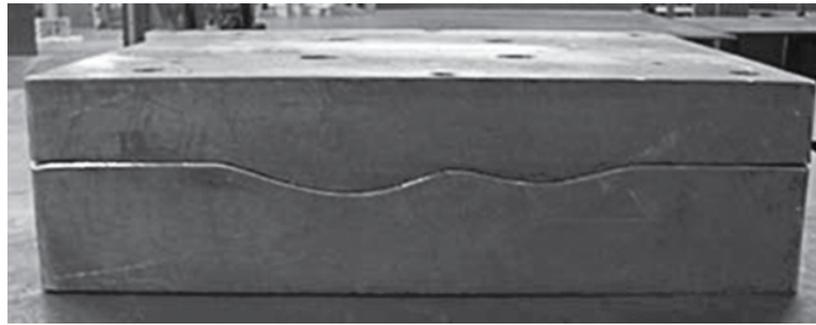
As máquinas CNC utilizadas para a fabricação de matrizes são as fresadoras. A operação de fresamento ocorre com o emprego de ferramentas

de corte rotativas, que removem material de um bloco. O programa CNC deve, assim, selecionar as ferramentas adequadas a cada operação, acionar o eixo-árvore até a velocidade adequada e iniciar o processo de usinagem, penetrando com a ferramenta no bloco em trabalho e removendo o material. Um operador acompanha o processo para garantir que não ocorram problemas, interferindo preventiva ou corretivamente.

A usinagem de uma peça normalmente se inicia com uma sequência de operações de desbaste. Operações de desbaste procuram remover o máximo de material em um curto espaço de tempo, sem grande preocupação com o acabamento. O acabamento é proporcionado por outra sequência de operações, com velocidades menores, durante a qual se procura remover a rugosidade introduzida nas operações de desbaste.

Conforme já exposto, o acabamento mecanizado tende a ser mais lento do que o manual em função das baixas velocidades e acelerações necessárias para garantir a eficácia das operações. Por esta razão, o acabamento de moldes de solados ainda é feito de forma manual por operadores especializados. Acabamentos comuns incluem a suavização de superfícies ou a aplicação de texturas por processos mecânicos (como jateamento com areia ou com outros corpos abrasivos) ou por processos químicos diversos.

Um acabamento importante é o aplicado nas superfícies de fechamento do molde. O ajuste entre essas superfícies irá influir no surgimento de rebarbas, que são filetes de material injetado que literalmente vazam entre tampas e cavidades no momento da injeção. Conforme já dito, este fechamento surge em pontos ocultos do solado, reduzindo sua influência no aspecto visual do produto. Entretanto, por se tratar de rejeito e necessitar de retrabalhos para sua remoção, sempre deve ser evitado. O resultado final do trabalho pode ser visualizado na Figura 17 a seguir. O ajuste entre o molde e sua tampa deve ser perfeito, para evitar o vazamento de materiais.

**Figura 17 – Exemplos de molde, exibindo a linha de fechamento**

### **2.3.4 Considerações gerenciais**

A grande possibilidade de alterações de percurso ao longo do ciclo CAD/CAM requer que os gestores de produção se envolvam mais com o processo de planejamento do ciclo como um todo, de forma a identificar, previamente, os problemas passíveis de ocorrência ao longo do ciclo, bem como as abordagens a serem adotadas para a minimização dos efeitos indesejados desses.

Paralelamente a isso sugere-se aos gestores que permanentemente invistam na disseminação de conhecimentos entre seus colaboradores e promovam fóruns de discussão dedicados à troca de experiências não somente entre os profissionais da própria empresa, mas também com os de outras companhias.

## **2.4 Vantagens do CAD/CAM**

A adoção de sistemas CAD/CAM/CNC na matrizaria calçadista apresenta um conjunto de vantagens sobre os processos convencionais de produção de moldes para solados. Apresentam-se algumas destas vantagens nos tópicos abaixo.

### **2.4.1 Melhoria da qualidade, precisão e fidelidade do produto**

Os sistemas CAD/CAM apresentam vantagens sobre os convencionais no tocante a qualidade. Uma das formas com que esta qualidade superior se expressa é com uma maior fidelização à superfície das formas, quando estas estão disponíveis durante a modelagem. Além disso, obtém-se uma simetria entre pés dificilmente obtida com processos manuais. Apesar dos pés dos usuários não serem simétricos, a falta de simetria no solado e, por conseguinte, no calçado pode deformar o solado de forma que um dos pés apresente desconforto para um número maior de usuários. A simetria é garantida nos sistemas CAD/CAM devido à possibilidade de espelhamento, inexistente em processos manuais, onde o pé e o contrapé, seu oposto, são feitos simultaneamente.

### **2.4.2 Maior liberdade na escolha de materiais**

A produção de solados com os materiais mais comuns (como TR, PVC, EVA, PU etc.), permite o uso de alumínio, que possui uma temperatura de fusão relativamente baixa, quando comparado com outros metais. Entretanto, um grande número de materiais de fabricação de solados e componentes (como a borracha, o policarbonato, o TPU etc.) exige o emprego de materiais mais resistentes, como o aço ou mesmo o alumínio laminado.

No caso do aço, a sua temperatura de fusão mais alta exige equipamentos adequados, normalmente inexistentes na maior parte das fundições do setor calçadista. Moldes em aço têm sua fundição terceirizada, o que, via de regra, significa uma dilatação no prazo normal de entrega dos produtos finais.

O alumínio laminado, por sua natureza, não permite a fundição, exigindo processos de usinagem diretamente sobre o bloco laminado. Antes dos centros de usinagem CNC, esse material só era utilizado quando fosse possível a pantografia.

Assim, o emprego de máquinas CNC trouxe a possibilidade de produção de moldes em materiais mais resistentes no processo de injeção de solados em materiais mais nobres, como o policarbonato e o TPU. A conformação de

solados de borracha, outro produto que sempre apresentou problemas com matrizes de alumínio, agora pode ser feita com maior produtividade e com o aumento da vida útil das ferramentas.

### 2.4.3 Redução de custos diversos

A usinagem CNC pode ser utilizada na produção de moldes em diversas etapas, como, por exemplo, na produção de simples maquetes, que poderão ser utilizadas para a aprovação de um projeto (quando são normalmente denominadas *visuais*) ou como elementos produtivos, onde poderão ser forradas com outros componentes e texturas e, a partir daí, serem tratadas como maquetes convencionais e utilizadas na produção de moldes por fundição. Finalmente, a usinagem pode produzir partes de moldes, como tampas, machos, eletrodos, e moldes completos.

A escolha do emprego da usinagem em cada uma dessas etapas é determinante para que se obtenham reduções de custos gerais. Cada uma das etapas onde se aplica a usinagem pode apresentar resultados financeiros diferentes. O conhecimento prático do processo e dos resultados históricos já alcançados leva à escolha de um ou outro método de fabricação.

De forma simplificada, pode-se induzir que alguns moldes são mais indicados para produção em sistemas CAD/CAM/CNC do que em sistemas convencionais (manuais). Um exemplo do cenário descrito é o dos solados com padrões regulares (padrões compostos pela distribuição regular de componentes, como semiesferas, pirâmides ou outras formas de complexidades variadas). Para esses, as ferramentas existentes, em sistemas CAD, permitem a disposição desses padrões sobre a superfície do modelo com maior facilidade do que com o processo convencional, onde cada componente precisa ser posicionado sobre a maquete, exigindo diversas operações para cada instância do componente específico.

Em contrapartida, também é de se esperar que outros modelos sejam obtidos mais facilmente por processos manuais, ou que não existam diferenças significativas entre os dois métodos. Por exemplo, texturas como tecidos,

crepes, madeiras e outras formas orgânicas são produzidas com mais realismo através da aplicação de mantas de borracha ou outros materiais prensados com estes padrões.

Outro fator determinante para a escolha do sistema produtivo é o processo de usinagem requerido. Com efeito, existem situações em que é mais vantajoso produzir-se a ferramenta inteiramente por usinagem – por exemplo, em casos nos quais o modelo do solado não possua texturas complexas. Em outros casos, apenas a usinagem da maquete é interessante sob a ótica técnica/financeira – por exemplo, em modelos com texturas que necessitem de forração adicional. No caso da opção pela usinagem apenas da maquete, as demais etapas de produção são feitas pelo modelo convencional, com a cópia desta maquete e a posterior fundição e acabamento por processos convencionais.

Ainda há a possibilidade de se produzir apenas a tampa ou outros componentes individuais dos moldes (enquanto as cavidades são produzidas por processos convencionais). Tampas, anéis e outras partes usinadas garantem um ajuste melhor com suas respectivas cavidades, reduzindo as rebarbas presentes nas regiões de fechamento dos produtos injetados. Além dessa melhor qualidade de fechamento, o tempo necessário para o ajuste de um conjunto de moldes pode ser reduzido consideravelmente com esta técnica, em função da maior exatidão no processo mecanizado e do paralelismo de atividades.

Quando se trata de custos, há um nível de incerteza na precisão dos tempos apontados pelo processo de produção, especialmente nos sistemas convencionais. Os processos CNC apresentam formas de apontamento mais confiáveis, além de poderem ter seus tempos confrontados com a simulação dos programas CNC enviados para as máquinas. Além disso, processos CNC têm a variabilidade dos tempos de produção reduzida em função da possibilidade de se ter um maior controle e repetibilidade dos tempos de fabricação dos diversos tamanhos de moldes produzidos em cada coleção, que tem uma média de sete moldes.

Cumprindo ainda destacar que o processo convencional de produção de moldes, utilizando a fundição para a produção das cavidades, necessita de grandes quantidades de matérias-primas, as quais possuem lotes econômicos

de compra. Isso pode gerar estoques indesejados em empresas que trabalhem em ambientes de produção JIT (*Just In Time*). No processo CNC, o fornecimento dos blocos pode ser terceirizado e, com o emprego de blocos padronizados, pode-se ter o fornecimento destes materiais em momentos mais adequados para sua pronta utilização, aumentando assim a disponibilidade de recursos no caixa da empresa e a redução dos estoques de matéria-prima.

#### **2.4.4 Novas oportunidades para melhoria nos processos produtivos**

Diversos novos produtos, internos à própria empresa, podem ser gerados a partir do emprego dos sistemas CAD/CAM. Esses produtos podem incrementar a velocidade do ciclo de fabricação de solados na indústria calçadista. Como exemplo desses produtos pode-se citar a produção de maquetes usinadas, as quais podem ser obtidas muito mais rapidamente e com melhor qualidade que as maquetes convencionais.

Nesse contexto, algumas maquetes podem ser produzidas já acabadas, enquanto outras, mais comuns, podem ser produzidas em um estágio intermediário de processo de fabricação, ou seja: maquetes semiacabadas. Essa possibilidade é por demais interessante para aquelas coleções de solados cujas maquetes podem ser usinadas a partir da digitalização de outra, previamente produzida, e que podem ser utilizadas para todos os tamanhos da coleção (números do calçado).

Outro produto importante que pode ser produzido internamente pelas organizações são os eletrodos, utilizados em operações de eletroerosão por equipamentos especiais denominados EDM (*Electrical Discharge machining*, ou usinagem por descarga elétrica). Esses eletrodos são produzidos com materiais especiais em equipamentos CNC. O emprego desses equipamentos e de sistemas CAD/CAM permite a confecção ágil de carimbos, logotipos e, por vezes, de toda a estampa da base de um solado plano.

## 2.4.5 Ampliação do valor percebido em nível de produto/serviço

Além da melhoria geral da qualidade visível em solados e outros componentes, o emprego de sistemas CAD/CAM para o desenvolvimento destes componentes permite a produção de formas e detalhes cada vez mais complexos, a custos mais compensatórios.

Há uma maior liberdade na escolha de formas e cores para a injeção, já que houve uma simplificação no projeto de moldes multicolores com o emprego de sistemas CAD/CAM. Anteriormente, o ajuste entre tampas e cavidades de matrizes bi e multicolores era manual, exigindo muitas horas de ajuste nas etapas de maquetaria, cópia e fundição dessas peças.

A maior complexidade, aliada à riqueza de formas e cores obtidas, agrega valor aos produtos, diferenciando-os dos produtos mais comuns ou existentes há mais tempo no mercado. Essa diferenciação, por sua vez, descortina uma ampla possibilidade de negócios em mercados de maior valor agregado, onde é grande a demanda por produtos mais requintados. Os clientes desses mercados podem ser encontrados tanto no Brasil como no exterior, especialmente se considerarmos as dificuldades competitivas recentemente apresentadas pelas matrizes localizadas nos países mais desenvolvidos.

Outra vertente da ampliação do valor percebido pelo cliente está na possibilidade de intercâmbio de informações em formato digital entre os setores de projetos associados aos escritórios de desenvolvimento e as unidades produtoras de matrizes. Essa possibilidade reduz, e muito, a importância da distância física entre desenvolvedores e produtores, permitindo a exploração de mercados mais distantes dos centros produtores.

Por fim, a oferta de novos serviços, como, por exemplo, a usinagem mecanizada, é outro exemplo no aumento da oferta possível com o emprego de sistemas CAD/CAM. Diversos clientes, atuais concorrentes ou de cadeias produtivas distintas (como a automotiva, por exemplo), podem ser somados à carteira ativa da empresa produtora de matrizes, caso essa julgue oportuno ingressar nesses mercados.

## 2.5 Implantação de Sistemas CAD/CAM

### 2.5.1 Competências demandadas

O fator mais importante para o sucesso na implantação de sistemas CAD/CAM reside na existência de colaboradores qualificados para a operação desses sistemas. Algumas das qualificações necessárias são: domínio da língua inglesa, conhecimento das ferramentas CAD/CAM, conhecimento de modelagem e produção de calçados (não confundir com modelagem computacional) e operação de máquinas CNC.

A aquisição dessas competências se dá através da combinação de uma sólida formação teórica com experiências práticas ou treinamentos específicos. Uma vez que essa combinação requer algum tempo de maturação, muitas empresas optam por buscar profissionais formados, por vezes já atuantes em outras empresas, como forma de reduzir o tempo de implantação das tecnologias CAD/CAM. Esses profissionais experientes contribuirão na disseminação do conhecimento para novos profissionais em formação.

### 2.5.2 Formação de recursos humanos

Entre os recursos externos para a formação de recursos humanos merecem destaque os programas de treinamento em escolas especializadas como o SENAI ou nas instalações da empresa (*in company*). Diversos fornecedores de sistemas ministram cursos nas duas modalidades, de caráter objetivo e, muitas vezes, com conhecimento no domínio de aplicação.

Considerando-se o atual desbalanceamento entre oferta e procura de profissionais, recomenda-se às empresas que permanentemente mantenham novos profissionais em treinamento como forma de se evitar eventuais dissabores no caso da saída de algum técnico mais experiente.

### 2.5.3 Aspectos operacionais

Uma outra questão importante a ser observada na implantação dessas tecnologias se relaciona com o ambiente onde esses sistemas vão ser instalados, visto que computadores, digitalizadores, escâneres, máquinas de corte e impressoras devem ser operados em ambientes limpos e com boas condições de iluminação e ergonomia geral. Redes rápidas de computadores e ambientes cooperativos bem estruturados permitem o trabalho em grupo com maior facilidade.

É recomendável que as máquinas de usinagem CNC sejam, sempre que possível, instaladas em salas separadas dos demais ambientes produtivos em função do nível de ruído produzido, da formação de vapores e de névoas de fluido de corte. Também sugere-se a operação dessas máquinas em ambientes climatizados.

A operação de equipamentos CNC exige o emprego de ferramentas e acessórios especiais. Assim, é importante que os responsáveis pelas atividades de compra e de controle de estoque estejam cientes das características de cada uma dessas ferramentas e acessórios, bem como da necessidade de manter-se uma boa carteira de fornecedores de matérias-primas específicas, como aços e alumínio especiais. A referida lembrança se faz necessária em função do alto custo operacional desses equipamentos, peculiaridade essa que pode fazer com que a economia auferida pela empresa na compra de uma dada ferramenta menos adequada venha a redundar em indesejáveis acréscimos de custo do produto final, bem como no seu tempo de produção.

### 2.5.4 Transferência da tecnologia: processo e requisitos

O processo de transferência das tecnologias CAD/CAM e usinagem CNC pode ocorrer de duas formas principais: aquela onde há a assistência de fornecedores de sistemas e equipamentos para a formação dos recursos humanos da própria organização; e outra onde se buscam profissionais já parcial ou totalmente capacitados no mercado de trabalho.

A transferência assistida por fornecedores pode trazer como benefício uma maior flexibilidade em função da variedade de experiências diferentes acumuladas por estes e que podem ser assimiladas por adquirentes de sistemas e equipamentos.

Contudo, essa transferência se potencializa à medida que se agregam à equipe profissionais experientes, captados no mercado de trabalho, os quais trazem consigo a experiência da aplicação dessas tecnologias para a produção de matrizes para solados e componentes de calçados. Com efeito, esse parece ser o modelo mais indicado para essas tecnologias, haja vista as peculiaridades envolvidas na integração das soluções CAD/CAM/CNC.



# 3 Sistemas CAD para desenvolvimento de calçados

## 3.1 Contexto de Utilização

A indústria do calçado emprega sistemas CAD para o projeto de seus produtos. Esses sistemas apresentam ferramentas que facilitam o projeto, incluindo características (*features*) específicas do setor, como, por exemplo: viras, costuras, adornos e outros. Muitos desses sistemas são paramétricos, ou seja, incluem parâmetros que controlam a formação dessas características, permitindo sua recriação automaticamente após a execução de alguma alteração no projeto. Por exemplo, detalhes como o posicionamento ou as dimensões de componentes podem ser relacionados com a largura de uma forma. Se esta forma for alterada (por quaisquer motivos), esses componentes serão redimensionados e reposicionados automaticamente.

Assim como os demais sistemas CAD, os sistemas para desenvolvimento de calçados podem ser divididos entre sistemas de 2D e 3D. Os sistemas básicos, em duas dimensões (2D), tratam o projeto de cabedais com base nas vistas planas obtidas a partir da fôrma onde o calçado será produzido. Os sistemas tridimensionais (3D), por sua vez, utilizam a própria superfície da fôrma digitalizada, sobre a qual o projeto do cabedal é desenvolvido ou aplicado, após seu desenvolvimento em um subsistema 2D auxiliar.

No aspecto temporal, o projeto de calçados se divide em pelo menos duas etapas: a concepção e o detalhamento. Na concepção, as linhas de estilo são os principais objetivos. A preocupação é com os aspectos visuais do produto. Nessa etapa são feitas avaliações de fôrmas, texturas, adornos etc. No detalhamento, alguns dos modelos aprovados anteriormente são decompostos em suas partes construtivas, e cada uma é detalhada com a exatidão necessária para sua produção e montagem no conjunto.

As ferramentas CAD para calçados acompanham essa divisão operacional, com módulos ou produtos específicos para a etapa de concepção. Nesses sistemas o projetista pode contar com ferramentas especiais, como fotorrealismo, bancos de dados de materiais, texturas e componentes para o auxílio na experimentação de diversas possibilidades estilísticas.

Na etapa de detalhamento o projetista dispõe de ferramentas que o auxiliam a projetar cada detalhe do cabedal. Esses detalhes se apresentam como peças individuais, que serão sobrepostas e anexadas umas às outras através de costuras ou do uso de adesivos. Os sistemas CAD permitem detalhar o perímetro de cada uma dessas peças, incluindo a sobreposição necessária entre elas (onde serão aplicados adesivos ou efetuadas as costuras). Ainda auxiliam na inclusão de marcações, sobre essas peças, que irão auxiliar nas atividades produtivas, como pontos de perfurações (para inclusão de ilhoses) e pontos para orientar a montagem (para o alinhamento entre as peças envolvidas).

Posteriormente ao processo do projeto de calçados, ainda há a possibilidade do auxílio oferecido por sistemas CAM e equipamentos CNC na produção de protótipos. Os modelos desenvolvidos podem ser tratados por sistemas CAM e então enviados a equipamentos CNC. Esses equipamentos podem ser máquinas de corte, como, por exemplo, para o corte de couro e materiais sintéticos utilizados em cabedais e equipamentos de prototipagem rápida, como a estereolitografia<sup>3</sup>.

## **3.2 Aplicações e Limitações dos Sistemas CAD 2D na Modelagem Calçadista**

Os sistemas CAD 2D trabalham sobre uma base obtida da digitalização de vistas, a partir das linhas de estilo (linhas que orientam o projeto, de caráter estilístico). Este processo é conhecido como planificação e reproduz a maneira tradicional de projeto, anterior à existência dos sistemas CAD. No processo tradicional, películas eram aplicadas sobre as fôrmas escolhidas para o projeto e tinham as linhas de projeto traçadas sobre si. Depois de removidas da fôrma, as

<sup>3</sup> Processo que produz modelos físicos através da solidificação controlada de resinas especiais.

películas eram utilizadas para a cópia das linhas de projeto sobre folhas planas, que seriam usadas para o projeto dos componentes finais do calçado. Após a montagem destes componentes, formando o cabedal, este podia ser reaplicado à fôrma original, de onde se obtinha o calçado, fiel ao projeto original.

No processo com o emprego de ferramentas CAD 2D, as linhas de estilo, já planejadas e introduzidas no sistema por processos de digitalização (escâner), servem de base para o detalhamento de todos os componentes, utilizando todas as facilidades oferecidas por cada ferramenta. Mesmo assim, ainda é necessária a planificação manual das linhas de estilo do projeto, da maneira tradicional, com o uso de películas ou papéis especiais.

Durante a aquisição (nome dado ao processo de digitalização) das linhas de estilo ou de geometrias, pode-se empregar o desenho direto sobre a imagem obtida, com a cópia seletiva das linhas de interesse. Normalmente empregam-se linhas de grau elevado (três ou mais) com um bom controle sobre a curvatura da linha obtida.

Também é comum o emprego de rotinas de vetorização, nome dado ao processo que extrai automaticamente os contornos existentes em figuras obtidas em um escâner. As ferramentas de vetorização possuem alguns parâmetros que permitem controlar a geração das linhas, como o grau das linhas desejadas, desvios máximos dos pontos da imagem original etc. Ambas as técnicas de obtenção das geometrias e linhas de estilo são eficientes, mas a vetorização pode oferecer mais agilidade ao processo.

Um exemplo de aquisição seria a digitalização (escaneamento) de peças já detalhadas por modelamento tradicional, sendo que as imagens obtidas são transferidas ao sistema CAD da empresa. Um operador recria as linhas da geometria de cada peça, seletivamente. Mesmo com a modelagem tendo sido feita de maneira tradicional, a sua digitalização permite o tratamento pelo sistema de toda a numeração (tamanhos), processo que pode ser mais eficiente do que os procedimentos tradicionais.

Alguns sistemas CAD oferecerem recursos de criação e aplicação de texturas aos projetos desenvolvidos. As texturas podem ser criadas a partir de imagens escaneadas ou por projetos vetoriais ou matriciais (mapas de *bits*)

discretos. O modelista pode, assim, simular com um bom nível de realidade o visual final que seu projeto irá apresentar e, até mesmo, experimentar diferentes texturas e cores para a seleção de uma ou mais apresentações do projeto antes de seu desenvolvimento físico.

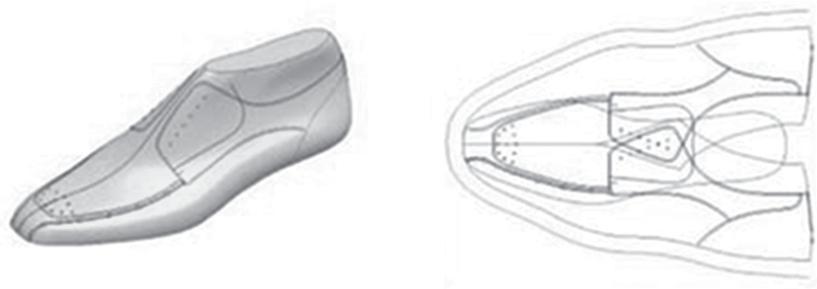
Como o processo é visual e virtual, ainda não é possível a avaliação tátil das texturas, o que é uma limitação da técnica. Texturas que apresentem superfícies irregulares somente serão apreciadas fisicamente após a produção de modelos reais desses produtos.

Entretanto, as capacidades de visualização desses sistemas constituem uma ferramenta muito importante, permitindo a troca de informações entre equipes de projetistas que podem, em muitos casos, estar distantes entre si. Os custos de alterações em modelos virtuais são reduzidos, já que os modelos físicos podem ser eliminados ou, pelo menos, postergados até etapas avançadas do processo de projeto, de acordo com a prática de cada empresa.

Rotinas de exportação dos modelos permitem a transferência de informações entre a empresa e seus parceiros, quando estes não possuem sistemas diretamente compatíveis. Casos comuns de exportação são os desenvolvimentos de solados, saltos, biqueiras, componentes e mesmo de fôrmas, que podem ser projetados por parceiros, paralelamente ou não, a partir da exportação das geometrias adequadas a cada um desses projetos.

### **3.3 Aplicações e Limitações dos Sistemas CAD 3D na Modelagem Calçadista**

Nos sistemas CAD tridimensionais (3D), a própria fôrma é digitalizada, por vezes, com as linhas de estilo traçadas diretamente sobre ela e escaneadas pelo mesmo equipamento. O processo de planificação agora é interno ao sistema de CAD, o que permite uma maior flexibilidade nos casos onde ocorrem alterações da fôrma utilizada e consequente adaptação do projeto. A Figura 18, a seguir, apresenta o resultado de uma planificação realizada em um sistema 3D.

**Figura 18 – Exemplo de fôrma planificada em sistema CAD**

Na etapa do detalhamento do cabedal, as ferramentas CAD 3D se dividem. Algumas permitem o projeto do calçado diretamente sobre a superfície da fôrma digitalizada, ao passo que outras optam pelo projeto sobre a superfície planificada da área coberta pelo cabedal na fôrma, da mesma maneira que os sistemas 2D. Estes últimos sistemas apresentam vistas em duas e três dimensões, e enquanto se modificam as linhas nas vistas 2D, o sistema atualiza a vista 3D de forma a refletir as mudanças realizadas.

Sistemas CAD empregados para o setor ortopédico permitem ainda a adaptação de um projeto às características morfológicas de clientes específicos, garantindo que o calçado obtido seja o mais confortável para esses clientes (personalização). Neste caso, as ferramentas são essencialmente 3D, já que a técnica utiliza a adaptação de fôrmas existentes com deformações controladas sobre estas, com o posterior ajuste de todo o projeto do cabedal associado.

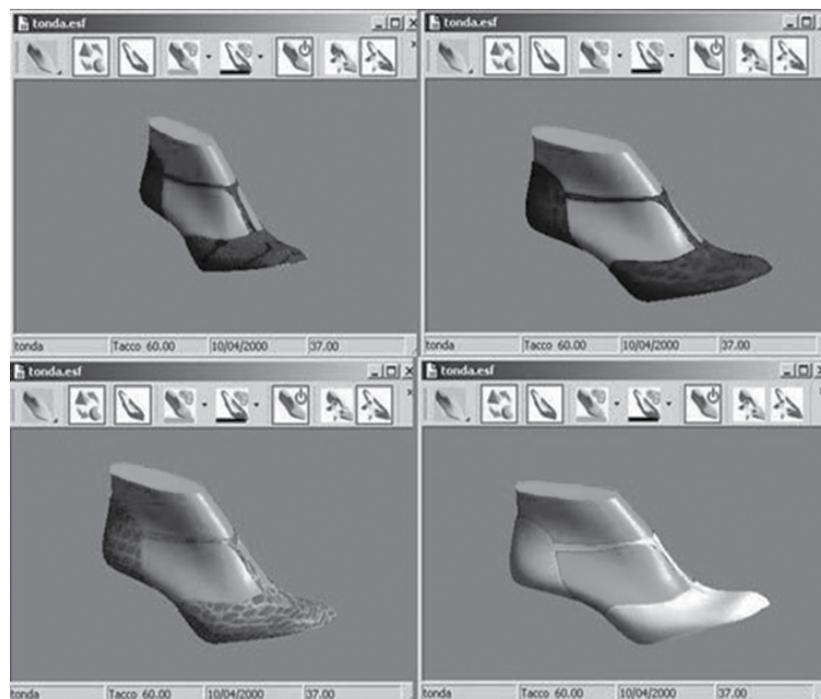
A exemplo das ferramentas 2D, os sistemas 3D também oferecem a funcionalidade de importação de geometrias oriundas de outros sistemas ou de digitalizações e imagens escaneadas. Dependendo da arquitetura do sistema, pode-se importar apenas desenhos 2D ou modelos 3D completos.

A fôrma é um componente especial, que normalmente é digitalizado. Alguns sistemas permitem também a criação de fôrmas internamente, com a exportação deste modelo para a produção das fôrmas finais, que serão utilizadas para a produção dos calçados projetados.

O fotorrealismo também é empregado em sistemas 3D para a visualização detalhada do modelo projetado, inclusive com a aplicação de texturas e cores aos componentes do calçado. Este fotorrealismo é uma ferramenta importante

na concepção, experimentação e aprovação de projetos de novos produtos. A Figura 19 a seguir apresenta um exemplo do exposto.

**Figura 19 – Exemplo de imagem de calçado criada por fotorrealismo**



O intercâmbio dos dados do projeto com parceiros é ainda mais enriquecido, no caso de sistemas 3D, por que permite a transferência de detalhes com maiores níveis de realismo e de facilidade de entendimento do modelo. Os modelos 3D que são transferidos aos fornecedores de solados, saltos e tacos, entre outros componentes, permitem a validação do projeto através de ferramentas de avaliação de superfície e modelos existentes em sistemas CAD/CAM.

## 3.4 O Ciclo de Modelagem do Calçado no CAD

### 3.4.1 Importação das fôrmas

As fôrmas são elementos que simulam a geometria de pés humanos, servindo de base para o projeto de calçados. Na etapa produtiva elas exercem

o papel de dispositivos de fixação sobre os quais os componentes dos calçados produzidos serão montados. Devido ao seu uso em todos os processos de concepção e fabricação, a produção de fôrmas em escala industrial, fiéis às utilizadas no projeto, é de suma importância para garantir que os componentes se adaptem com perfeição nas etapas de montagem dos produtos.

A produção de fôrmas pode ser iniciada em sistemas CAD, com a posterior produção de instâncias físicas, ou em sistemas tradicionais, artesanais, com a posterior digitalização de sua superfície. A produção industrial de fôrmas é realizada em tornos copiadores, equipamentos que reproduzem um conjunto de fôrmas simultaneamente a partir de um original físico. Recentemente surgiram tornos CNC especiais para a digitalização e a produção de fôrmas, que ainda são criadas manualmente. A Figura 20 a seguir apresenta uma fôrma de calçados.

**Figura 20 – Fôrma utilizada na fabricação de calçados**



### **3.4.2 Importação ou criação dos modelos de cabedais**

O componente do calçado que normalmente mais chama a atenção quando o analisamos é o cabedal. Ele compõe toda a superfície superior do calçado, podendo ser composto de diversos materiais, formas e aparências superficiais diferentes. A Figura 21 a seguir apresenta exemplos de cabedais de calçados.

**Figura 21 – Exemplos de cabedais de calçados**

Os cabedais podem ser produzidos em combinações de tecidos naturais, como couros e demais peles de animais, e de tecidos artificiais, como o *nylon* e o *curvin*, entre outros. Alguns modelos de calçados não apresentam distinção entre cabedal e solado, sendo produzidos em uma só peça de material sintético.

O projeto de cabedais, da maneira tradicional, principia com a planificação da superfície ocupada sobre a fôrma (previamente escolhida). Esta superfície é delimitada por linhas de estilo, que indicam as formas gerais que o cabedal projetado deverá apresentar sobre o pé do futuro cliente. Essa planificação pode ser visualizada como o processo inverso ao do ajuste de um tecido sobre um corpo, ou seja, tenta-se recriar o desenho do tecido antes de sua aplicação sobre este corpo, no caso do calçado, a fôrma.

Após a planificação, o projeto continua com o detalhamento de cada componente até se obter um conjunto de peças que, quando corretamente associadas e processadas, irão compor o cabedal idealizado. O projeto ainda inclui o detalhamento de linhas auxiliares, que irão fornecer marcações para os processos produtivos, como linhas de costuras, marcas que orientam a montagem dos conjuntos, aplicação de adornos, logotipos etc.

### **3.4.3 Alterações e aprovação de modelagem, texturas e cores**

Os modelos em desenvolvimento devem ser adequadamente apresentados a todos os envolvidos na sua concepção e desenvolvimento, especialmente quando alguns desses envolvidos encontram-se distantes geograficamente.

Após sua apreciação, esses modelos serão alterados, caso necessário, até sua completa aprovação.

Após a aprovação, principia-se a produção de um pequeno lote de calçados de mostruário. Essas amostras serão distribuídas aos canais comerciais das empresas para a pesquisa de vendas. De acordo com a aceitação dessas amostras e de possíveis vendas, ou promessas de vendas, passa-se à produção dos demais tamanhos de cada projeto escolhido.

#### **3.4.4 Alterações de fôrma e de projeto**

Antes da aprovação final de um projeto, diversas características podem ser alteradas. A mais radical costuma ser a troca da própria fôrma, o que acarretará mudanças em todos os componentes do produto. Essas trocas podem ser oriundas de adaptação de produtos a outros mercados (variações de origem étnicas, por exemplo, ou a diferentes ramos de atividade profissional).

Alterações mais suaves incluem mudanças nas linhas de estilo (como a mudança na posição de costuras, ilhoses etc.), as quais têm impacto médio sobre o projeto. As referidas alterações exigem apenas a reconstrução de parte do que já foi modelado, bem como o recálculo de tempos de produção e do custo de um novo modelo.

Alterações em detalhes construtivos de componentes isolados (como logotipos, textos identificadores e símbolos), que podem ter apenas impactos localizados, requerem poucos recálculos e têm impacto reduzido nos tempos de produção e custos.

## **3.5 Vantagens Advindas da Adoção do CAD 3D**

### **3.5.1 Agilização do processo de modelagem**

Maquetes físicas não são necessárias na etapa de concepção de produtos. A produção pode passar diretamente para o mostruário, quando houver a aprovação da modelagem.

Eventualmente um projeto mais exigente pode determinar a produção de uma maquete para aprovação, também denominada no setor de “visual”. O “visual” pode não apresentar as texturas finais pretendidas, mas, sim, cores diversas, para permitir uma rápida compreensão do modelo físico.

A possibilidade de experimentação de texturas e cores deixa poucas indefinições aos projetos, permitindo a análise antecipada de diversas opções de cores, materiais e texturas de maneira prática e econômica.

O detalhamento de projetos passa a ser executado em menor tempo, permitindo um intercâmbio mais imediato entre os envolvidos nos novos projetos, trazendo ganhos de produtividade e diferenciais em relação ao mercado.

O tempo demandado na concepção de novos produtos se reduz, já que tanto as etapas de concepção quanto as possíveis alterações de projeto são realizadas em menor tempo.

### **3.5.2 Melhoria do processo de criação**

As ferramentas CAD 3D podem favorecer o uso de processos automatizados. Muitas vezes esses processos estarão presentes nos fornecedores de ferramentas (moldes) e componentes (solados, saltos, almas), que podem receber arquivos 3D para auxiliar no projeto de seus produtos específicos, contribuindo para a melhoria geral do produto.

Esse intercâmbio pode ser realizado mais facilmente com o uso dos arquivos gerados nos sistemas CAD 3D. Quando a troca de informações se inicia nas primeiras etapas de desenvolvimento de novos modelos, poderá ocorrer inclusive um processo de engenharia simultânea, na medida em que fornecedores e a empresa produtora do calçado trabalhem de forma cooperativa, para eliminar problemas já nos primeiros estágios do projeto.

A existência de ferramentas CAD 2D e 3D demanda um nível maior de organização, tanto em nível de projeto quanto nas definições de materiais. Esta maior definição permite a utilização de todas as potencialidades dos sistemas de MRP (*software* para o planejamento dos recursos de produção), permitindo assim que a empresa aumente a eficácia do seu setor de planejamento produtivo em função de um melhor planejamento do fornecimento de materiais e da capacidade produtiva.

### 3.5.3 Redução do custo de modelagem

O custo de desenvolvimento de um novo modelo de calçado é proporcional, entre outros fatores, ao nível de mão de obra envolvida. No processo tradicional, a produção de desenhos detalhados sempre demandou muito horas de trabalho dos profissionais de suporte e projeto. Todavia, a agilidade e a qualidade obtidas com o emprego de sistemas CAD reduzem esse tempo, já que o detalhamento a partir das linhas de estilo existentes é, em parte, sistematizado e automatizado nessas ferramentas. A existência de elementos construtivos específicos (características, ou *features*, como costuras, viras, ilhoses etc.) e paramétricos dentro das ferramentas de CAD tornou-as muito produtivas.

A produção de modelos virtuais, ao invés dos diversos modelos físicos, antes necessários, é outro exemplo importante de redução de custos. Custos associados, como o transporte desses modelos entre as empresas envolvidas, por vezes entre países distantes entre si, podem ser reduzidos ao mínimo, quando não eliminados completamente.

## **3.6 Implantação de Sistemas CAD na Modelagem de Calçados**

### **3.6.1 Requisitos para operacionalização da tecnologia**

Apesar de terem facilitado o projeto de calçados, os sistemas CAD 2D e 3D necessitam de operadores com conhecimentos específicos para introduzi-los eficazmente nos setores de projeto. As equipes de modelistas precisam, agora, dominar estas novas ferramentas, sendo que para isso existem treinamentos complementares que podem agregar os conhecimentos de desenho computacional necessários.

As escolas de modelagem já têm incluído em seus currículos o desenho em sistemas CAD, o que tem contribuído para a existência de profissionais com os conhecimentos necessários, que incluem a etapa criativa e a etapa descritiva do projeto. Empresas com profissionais mais experientes em seus setores de projeto podem, por vezes, agregar novos profissionais com o fim específico de introduzir o uso desses sistemas no setor.

O ambiente de projeto, onde tradicionalmente havia equipamentos de desenho e manipulação de matérias-primas do setor, passa a conviver com computadores e periféricos. A interconexão de computadores, servidores (computadores de uso coletivo) e equipamentos em rede permite o trabalho, em alguns casos simultâneo, de diversos colaboradores em um mesmo projeto.

Para a completa implementação da tecnologia, incluindo equipamentos CNC, para corte de cabedais, ou de prototipagem rápida, é necessário o conhecimento de ferramentas de corte e dos possíveis novos materiais que serão utilizados com esses equipamentos. Assim, a tecnologia vai demandar novos produtos e, possivelmente, novos fornecedores, trazendo assim impacto aos processos de compras e logística de materiais.

### 3.6.2 Transferência da tecnologia: processo e requisitos

A implantação de sistemas CAD no projeto de calçados se dá por, pelo menos, dois métodos. Um envolve a participação ativa de fornecedores desses sistemas, outro envolve a montagem de equipes com profissionais já experientes nesses sistemas.

No processo de implantação assistida, as empresas fornecedoras negociam conjuntamente o licenciamento dos sistemas, atividades de treinamento e acessórias relacionadas, como escolha de equipamentos, desenho e implantação de processos etc. Como se tratam de sistemas específicos, são treinamentos normalmente inexistentes no mercado, geralmente associados apenas a processos conjuntos de aquisição.

As empresas podem também optar por procurar profissionais que já tenham recebido esse treinamento ou participado de implantações em outras empresas. Neste caso, a participação de fornecedores no processo pode ser reduzida, ou até evitada, caso seja o interesse da empresa.



## 4 E-commerce (B2C) e e-business (B2B)

o emprego de sistemas integrados na administração das empresas calçadistas tem crescido rapidamente com o objetivo de incrementar o atual nível de automação administrativa e comercial. Essa automação abarca desde o intercâmbio de informações entre unidades de uma mesma empresa até a troca de informações entre empresas diferentes.

A necessidade de redução dos estoques das empresas produtoras de calçados, advinda da aplicação de sistemas JIT (*Just in Time*) requer o abastecimento de itens em quantidades e prazos precisos, condição essa que tem reforçado a necessidade de automação nos sistemas de gestão logística entre clientes e fornecedores.

Além desta integração entre clientes e fornecedores da cadeia produtiva de calçados, existe a integração entre a empresa e seus representantes, distribuidores ou mesmo consumidores finais. Para tanto as empresas estão fazendo uso de sistemas B2B (sistemas entre empresas) e sistemas B2C (sistemas entre a empresa e seus clientes). Esses sistemas são apresentados na sequência.

### 4.1 Sistemas B2B

O aumento da diversidade de modelos associado à redução no tamanho dos lotes e à curtíssima vida das coleções calçadistas tem forçado as empresas produtoras de calçados a adotar, de forma crescente, ferramentas e sistemas que auxiliam no processo de programação de seus sistemas produtivos, normalmente denominados sistemas PCP (Programação e Controle de Produção). Os referidos sistemas objetivam melhorar o planejamento da produção e eliminar erros de programação de materiais (itens a serem comprados e produzidos), os quais comprometem significativamente o desempenho competitivo de uma empresa de qualquer setor de atividade, especialmente nos segmentos que operam com baixos volumes e grande diversidade de modelos.

Uma das interfaces desses sistemas é com o setor de logística, mais especificamente na programação de compras e entregas de matérias-primas, componentes, acessórios etc. Essa programação é executada nos modos de programação de compras usualmente denominados de MRP (do inglês *Material Requirement Planning* – planejamento de necessidades de materiais). Nesse tipo de sistema as necessidades de materiais são determinadas em função das definições de consumo em cada um dos produtos a serem produzidos que fazem uso de um determinado item. Como exemplo do exposto cite-se que um dado solado pode servir a diversos modelos de calçados; assim, a compra de matéria-prima e a produção do mesmo devem ser consideradas simultaneamente de forma a otimizar os recursos financeiros e industriais disponíveis.

Cumprido destacar que o melhor momento de produção e o recurso (equipamento ou unidade produtiva) mais indicado para uma dada tarefa podem ser definidos nos sistemas de capacidade finita (sistemas que determinam a sequência das operações ao longo de cada um dos recursos produtivos da empresa). Contudo, esses ainda se encontram em uma fase embrionária de implantação na maioria das empresas do setor.

Paralelamente à definição do melhor plano de utilização da capacidade instalada de uma empresa (passível de ser definido nos sistemas de capacidade finita pela ferramenta *kanban* ou por outras soluções), faz-se necessário integrar os fornecedores aos seus clientes industriais. Uma das ferramentas B2B surgidas para incrementar o papel dos fornecedores dentro das cadeias produtivas é o Estoque Gerenciado pelo Fornecedor (*Vendor Managed Inventory* – VMI). Este sistema permite ao fornecedor acompanhar o consumo de seus produtos dentro do ambiente de seu cliente, identificando e disparando a reposição dos itens faltantes à medida que o processo do cliente necessitar.

Em ambientes convencionais, ou seja, sem o VMI, os sistemas B2B são complementados pela integração eletrônica com fornecedores. Esta integração permite que a empresa calçadista transfira para seus fornecedores de componentes suas necessidades de materiais em termos quantitativos e temporais. Complementarmente, essa integração pode possibilitar o acompanhamento de cada parcela negociada, através do retorno de informações do fornecedor para o cliente, indicando, por exemplo, o andamento do processo ou os documentos fiscais envolvidos na transferência das mercadorias.

Esse processo é realizado através do intercâmbio eletrônico de documentos, EDI (*Electronic Document Interchange*), e exige, por parte de clientes e fornecedores, sistemas adaptados para sua realização. Esta adaptação inclui funções de importação de documentos textuais, de correspondência entre produtos (que podem ter codificação distinta em cada lado da negociação) e de inclusão de registros nos respectivos sistemas.

As empresas calçadistas têm empregado o sistema EDI há vários anos. Inicialmente não existiam padrões específicos para os documentos, e os clientes e fornecedores implantavam seus processos de maneira independente. Posteriormente, no Vale do Sinos, surgiu o que se denominaria “Padrão do Vale”, uma especificação de EDI em uso até os dias atuais em diversas empresas. Na época da criação deste padrão, apenas as grandes empresas o empregavam, em especial devido aos custos de implantação e manutenção.

Com o aumento da oferta de sistemas integrados para o setor aumentou a procura e o uso de EDI. Além disso, surgiram novas necessidades não previstas pelo Padrão do Vale. Um grupo de empresas, representando clientes e fornecedores, passou a definir um novo padrão para o setor, chamado de padrão GOL. A observação do setor revela que vem crescendo o número de empresas que empregam o padrão GOL, mas ainda há um maior emprego do Padrão do Vale.

## 4.2 Sistemas B2C

Os sistemas B2C (*Business to Customer*) vêm sendo empregados por empresas calçadistas para gerenciar suas transações comerciais com os consumidores finais de seus produtos, bem como com seus representantes, distribuidores etc. Sob esta ótica, o emprego de ferramentas B2C aproxima a empresa de seus clientes, através de sistemas via Internet.

Assim, por exemplo, podemos ter páginas *web* nas quais os consumidores finais escolhem seus calçados através de catálogos eletrônicos. Esses catálogos fornecem um nível adequado de detalhes sobre os produtos de forma a permitir a escolha, por parte dos clientes, dos produtos desejados. Esses clientes podem,

por sua vez, realizar compras pelo mesmo sistema. Para isso existe a criação de um cadastro eletrônico através dessas páginas *web* que é utilizado para concretizar as operações de venda. Este processo pode ser ampliado para atender também a representantes, distribuidores e lojistas.

Ainda que a compra não se efetue, a simples visita do cliente aos catálogos eletrônicos da empresa pode levá-lo a adquirir um dos modelos da empresa em uma eventual compra futura. O processo de decisão do cliente foi, assim, influenciado pelo catálogo *online* do fabricante. Isso demonstra a importância desses catálogos para a difusão dos produtos de uma empresa, atualmente.

Todavia, é preciso considerar que mesmo existindo a possibilidade de compras *online*, muitos consumidores (e até lojistas) ainda preferem compras presenciais, em especial, devido à vontade de experimentação (toque e visual) dos diversos modelos existentes e à dificuldade de abstrair os detalhes através das fotos presentes em catálogos eletrônicos.

Independentemente da forma como a compra é feita, a experiência com os sistemas B2C revela que eles são essenciais na estratégia de *marketing* de uma produtora de calçados, haja vista sua capacidade de indiretamente influenciar os clientes. Esse fenômeno já pode ser observado em outros produtos de consumo manufaturados por diferentes setores industriais.

Nesse contexto, os profissionais de *marketing* argumentam que é de grande importância a criação de um catálogo eletrônico capaz de mostrar ao cliente todos os detalhes de seus produtos. Para isso existem no mercado sistemas para criação de catálogos em diversos formatos. Entre os formatos mais comuns estão os catálogos em CD-ROMs (enviados a representantes, distribuidores e lojistas) e os catálogos *online* (onde os consumidores visualizam os produtos através de imagens multimídia).

Existem vários exemplos de utilização, pelas empresas calçadistas, dos sistemas B2C como ferramenta de posicionamento e diferenciação das empresas. Nos seus *sites* são apresentadas aos clientes informações sobre importantes diferenciais do calçado através dessas ferramentas com o intuito de justificar preços de até 100% acima do praticado pelas empresas concorrentes.

Por fim, vale destacar a importância do caráter sistêmico que esses sistemas assumem na ligação da empresa aos seus clientes. Diversas tecnologias têm surgido para possibilitar a efetivação de transações comerciais seguras e eficientes. Surgem siglas representando técnicas utilizadas na criação desses sistemas, como XML (*eXtended Markup Language*), SOA (*Service Oriented Architecture*), SOAP (*Simple Open Access Protocol*), entre outras. Cada uma delas representa características presentes nos sistemas e ferramentas atualmente existentes no mercado.

O XML surgiu para substituir os formatos de arquivos de dados com definição fixa (estática). Por natureza, o XML é uma gramática que determina a formatação de arquivos de dados, que podem ser utilizados para, entre outros fins, o tráfego de informações entre sistemas. Como há a liberdade no conteúdo, basta garantir que o mínimo de informações para cada sistema envolvido esteja presente, que estes poderão realizar um intercâmbio eficiente.

A arquitetura SOA (*Service Oriented Architecture*) disponibiliza programas aplicativos sob a forma de serviços, normalmente acessíveis via *web*. Sob esta arquitetura, os sistemas podem ser executados de forma distribuída, sem a necessidade de instalação de um novo sistema no ambiente da empresa, pois todo o processamento é realizado via interfaces *web*.

O SOAP (*Simple Open Access Protocol*) é um protocolo de intercâmbio de informações baseado em XML. Foi projetado para integrar plataformas descentralizadas e distribuídas, independentemente de qualquer linguagem de programação ou de implementações específicas.

## 4.3 Ganhos de Produtividade e de Mercado

### 4.3.1 Sistemas B2B

Em função das vantagens anteriormente expostas, a maioria das grandes e médias empresas calçadistas tem dado preferência para os fornecedores que possuam sistemas B2B já implantados. O emprego de B2B tem permitido a

redução no volume de estoques intermediários, dos erros de digitação e de outros problemas que surgem nos processos não integrados. Além disso, o retorno da informação de despacho de mercadorias facilita a conferência de pedidos no seu recebimento, reduzindo a complexidade e necessidade de mão de obra.

O melhor gerenciamento do ciclo em foco permite uma melhor gestão da produção nas empresas de calçados, bem como a quebra de pedidos individuais para seu posterior reagrupamento com vistas à formação de lotes de produção mais bem dimensionados, facilitando assim a programação da produção (PCP).

Quanto aos fornecedores, existe efeito semelhante. Contudo, a grande vantagem dessas ferramentas se dá quando os produtos fornecidos abastecem mais do que uma empresa de calçados. Nesses casos, a geração de lotes que integrem diversos pedidos permite o aumento no tamanho dos lotes produtivos do fornecedor, melhorando assim a utilização dos seus recursos produtivos.

#### **4.3.2 Sistemas B2C**

No âmbito do B2C, os ganhos apresentados são, em parte, semelhantes aos do B2B, visto que os sistemas B2C também auxiliam na redução de estoques de produtos e na possível centralização da distribuição.

Igualmente existem ganhos para os consumidores finais, em função da comodidade para a escolha e do fato de que não necessitam se deslocar até uma loja para adquirir o produto desejado. A compra não-presencial habitual fideliza o cliente aos fornecedores que melhor o atenderem.

A presença de sistemas capazes de captarem a preferência do cliente traz a possibilidade de identificar novos clientes, informações para campanhas de *marketing*, concepção de novos produtos etc.

## 4.4 Requisitos de Implantação

### 4.4.1 Requisitos para operacionalização das tecnologias

O capital humano necessário para a operacionalização de tecnologias B2B e B2C necessita preencher alguns requisitos. Entre eles, o domínio de sistemas computacionais, como ERP (*Enterprise Resource Management*), CRM (*Customer Relationship Management*), SCM (*Supply Chain Management*) etc. Esse conhecimento pode ser adquirido em treinamentos específicos, *in company* ou externos. A equipe pode ser interna ou composta de terceiros, em caráter de prestação de serviços.

Os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) são sistemas integrados de gestão de empresas. Esta integração permite que se tenha acesso a praticamente todas as informações envolvidas com a execução das atividades da empresa, facilitando a automação de processos, eliminando o retrabalho de inclusão de informações em sistemas desconexos e permitindo a extração de conhecimento da base de dados da empresa, na forma de relatórios.

Sistemas CRM (*Customer Relationship Management*) procuram melhorar o relacionamento da empresa com clientes na forma de um registro acurado de todas as atividades entre estes e a empresa, relacionando estas atividades aos processos internos dela, quando possível. Também podem estar presentes ferramentas de prospecção, pesquisa de opinião, registros de reclamações etc.

SCM (*Supply Chain Management*) é o nome dado ao gerenciamento da cadeia de suprimentos. Estes sistemas interligam provedores e clientes industriais com ferramentas específicas para as atividades de gerenciamento da demanda (previsão e colaboração), pedidos, logística, controle de produção etc.

Além dos recursos humanos, há necessidade de infraestrutura técnica. Os sistemas da empresa (ERP, CRM, SCM) devem ser capazes de realizar o intercâmbio eletrônico de documentos (EDI, SOAP etc.) e de se integrarem aos possíveis sistemas *web* utilizados para B2C e B2B (SOA).

Caso a empresa venha a hospedar os sistemas em suas dependências, existem necessidades próprias inerentes ao funcionamento de sistemas *online*, como instalações adequadas, conexões confiáveis para o uso da Internet, rotinas de manutenção, além de outras normalmente vistas em ambientes de TI (Tecnologia da informação).

#### **4.4.2 Transferência da tecnologia: processo e requisitos**

Um dos requisitos dos os sistemas B2B e B2C é a presença de recursos humanos adequadamente capacitados. Esta capacitação é obtida através de treinamentos prévios (em ambientes externos, como escolas, centros de treinamento etc.) ou concomitante à implantação, mediante treinamentos oferecidos por instrutores do parceiro escolhido para a implantação (normalmente *in company*).

No caso em que há a montagem de um departamento específico, com a contratação de novos colaboradores, estes podem ser captados no mercado já atendendo às necessidade técnicas específicas, ou seja, com o conhecimento dos sistemas (ERP, CRM e outros) utilizados pela empresa.

## 5 Produtos para asperação e lixação mecânica

A operação de colagem entre solados e cabedais é um ponto crítico na fabricação de calçados por ser um processo moroso e de grande variabilidade. É preciso que as superfícies a serem coladas sejam preparadas por um processo denominado “asperação mecânica”. Após essa etapa é feita a aplicação do adesivo que fará a colagem. Também é crítico no aspecto da qualidade do produto, já que uma colagem defeituosa irá provocar o descolamento antecipado das duas partes do calçado.

Para reduzir a dependência da operação manual nesse processo, têm sido desenvolvidas técnicas com o intuito de melhorar a aderência entre as superfícies e reduzir os custos operacionais envolvidos.

Nesse contexto, a indústria calçadista vem aplicando produtos químicos para a preparação das partes a serem coladas, produtos conhecidos como *primers*. Os *primers*, depois de aplicados sobre solados e ativados, alguns por exposição à radiação Ultravioleta (UV), irão atacar quimicamente a camada superficial desses materiais, aumentando a eficiência dos adesivos posteriormente aplicados.

### 5.1 Princípio de Operação

Os adesivos à base de Poliuretano (PU) são largamente utilizados para a colagem de solados e cabedais. Para que esta colagem seja eficiente é necessário que os solados sintéticos apresentem um nível de rugosidade adequado. A rugosidade é obtida por um processo conhecido por “asperação”, ou seja, um processo que deixa a superfície do solado áspera, para uma adesão mais intensa entre as partes.

O processo de asperação tradicional é mecânico, com o emprego da lixação. Nele, os operadores lixam, seletivamente, a área de colagem dos

solados (zona interna do solado onde se dará a colagem). Esta área de colagem é particular de cada modelo e tamanho de solado, trazendo uma grande variabilidade na rotina do operador, que tem de se adaptar às operações executadas em cada modelo.

Os solados podem ser asperados quimicamente. Nesta etapa do processo obtém-se a rugosidade necessária no solado através de reações químicas superficiais. Estas reações são obtidas, principalmente, por dois processos: a halogenação e a aplicação de *primers* UV.

A halogenação é uma reação química na qual átomos de hidrogênio (ou hidrocarbonetos) são substituídos por elementos halogênios, como o cloro, o flúor, o bromo e o iodo. A reação irá produzir uma superfície rugosa, adequada para a colagem com adesivos PU.

Com o uso de *primers* ultravioleta (UV), os solados têm sua área de colagem impregnada com o composto, o qual será ativado através de exposição à radiação ultravioleta, com intensidades e tempos controlados.

## 5.2 Tipos de Equipamentos

Para o emprego dessa tecnologia, poucas alterações são necessárias aos processos já existentes. A aplicação dos *primers* pode ser realizada por operadores, em procedimentos manuais, ou por máquinas robotizadas, ainda não tão comuns em nosso mercado.

Para a halogenação, são utilizados equipamentos adequados, compostos de tanques e aplicadores. Estes aplicadores são, por vezes, nebulizadores que propiciam uma aplicação mais homogênea sobre os solados.

Para os *primers* UV, um equipamento que irá expor os solados à radiação UV é o único acréscimo ao leiaute produtivo. Este equipamento se assemelha às estufas já utilizadas em alguns processos na área calçadista (os túneis UV). As demais alterações envolvem a remoção dos equipamentos de asperação manual.

Os demais passos envolvem apenas a alteração dos materiais utilizados. A escolha dos produtos, *primers* ou halogenantes, é realizada em função do tipo de solado utilizado no calçado e do adesivo. Existem produtos específicos para solados de EVA e borracha e seus derivados.

### 5.3 Ganhos de Produtividade e de Mercado

O processo de asperação mecânica, em função de envolver operações manuais ligadas às formas dos solados utilizados, tem grande variabilidade, além de ser naturalmente moroso. Além deste tempo, o caráter manual da atividade traz variabilidades intrínsecas ao próprio processo, trazendo variações à própria rugosidade encontrada nos solados.

A asperação química, por sua vez, tem menor variabilidade no resultado final, a rugosidade. Além disso, o tempo de aplicação dos produtos químicos específicos para cada material é menor e praticamente constante, dependendo menos das formas e tamanhos dos modelos existentes. Daí decorre um ganho em produtividade direto.

A automação pode ser aplicada a cada uma das formas de asperação. Na mecânica, o emprego de robô reduz a variabilidade no tempo e aumenta a produtividade, além de melhorar a qualidade geral do processo. Entretanto, é de custo elevado e só é vista em outros países onde o custo da mão de obra viabiliza seu uso.

A automação da asperação química, por outro lado, não necessita de robotização. Equipamentos simples (como aplicadores automáticos, nebulizadores etc.) podem substituir o operador, aumentando ainda mais a eficiência e a invariabilidade do processo.

Por fim, a qualidade, na percepção do cliente, também é influenciada pela durabilidade de um calçado. A adesão entre solados e cabedais é um dos itens que influenciará a durabilidade do calçado; logo, qualquer melhoria de qualidade nesse processo irá repercutir na visão geral da qualidade do produto.

## 5.4 Requisitos de Implantação

Não há requisitos especiais para a implantação dessas tecnologias. Entretanto, por tratar de produtos químicos adicionais, é necessário consultar as legislações ambientais de cada estado e obter as devidas licenças, caso necessárias.

## 5.5 Transferência da Tecnologia

Apesar de, genericamente, o processo de asperação química ser simples, cada produto utilizado possui características individuais, resultando sempre na transferência de conhecimento do fornecedor para o cliente.

O processo é conduzido através de acompanhamento, por parte do fornecedor, das atividades e resultados obtidos nas empresas bem como do estudo de novas técnicas, em função de peculiaridades do cliente.



## SENAI/DN

### Unidade de Prospectiva do Trabalho - UNITRAB

*Luiz Antonio Cruz Caruso*

Gerente-Executivo

<i>Alessandro Carloni</i>	Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)
<i>Antônio Siribeli</i>	Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)
<i>Carlos Roberto Gomes</i>	DR-SP – Escola SENAI Márcio B. Leal
<i>Renato Garcia</i>	USP
<i>Rifrâncio Silva</i>	DR-PB – Centro Tecnológico do Couro e Calçados Albano Franco
<i>Luiz Antonio Cruz Caruso</i>	SENAI/DN
<i>Marcello José Pio</i>	SENAI/DN

### SUPERINTENDÊNCIA DE SERVIÇOS COMPARTILHADOS – SSC

#### Área Compartilhada de Informação e Documentação – ACIND

*Gabriela Leitão*

Normalização

*Suzana Curi Guerra*

Produção Editorial

---

*Giancarlo Medeiros Pereira*

Elaboração

*Ronaldo Santiago*

Revisão ortográfica

*Exa World*

Projeto gráfico

*TMTA Comunicações*

Diagramação





**CNI-SENAI**

*Confederação Nacional da Indústria  
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
Departamento Nacional*

ISBN 978-85-7519-300-6



9 788575 193006 >