

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS



Universidade do Porto

FEUP Faculdade de Engenharia

Implementação de sistema CAD/CAM na empresa Francisco Andrade – Metalomecânica

Tese de mestrado integrado realizada por:

Valter Guedes de Andrade

Orientado por:

Professor Doutor Carlos Alberto Silva Ribeiro (DEMM/FEUP)

Julho de 2010

CANDIDATO	Valter Guedes de Andrade	CÓDIGO	040508012
TÍTULO	Implementação de sistema CAD/CAM na empresa Francisco Andrade – Metalomecânica		
DATA	29 de Julho de 2010		
LOCAL	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Sala F603 - 11:00h		
JÚRI	<i>Presidente</i>	Professor Doutor Luís Filipe Malheiros de Freitas Ferreira	DEMM/FEUP
	<i>Arguente</i>	Professor Doutor Carlos Alberto Moura Relvas	DEM/UA
	<i>Orientador</i>	Professor Doutor Carlos Alberto Silva Ribeiro	DEMM/FEUP

Agradecimentos

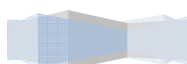
Deposito neste bloco de primeira instância a minha sincera gratidão àqueles que prestaram o seu contributo, possibilitando não só a mera realização deste estudo, mas também o seu aperfeiçoamento e progresso.

Agradeço, portanto, aos meus orientadores, em especial ao Engenheiro Vítor Martins Augusto pela disponibilidade e abertura demonstradas, por ter mantido uma postura de honestidade e frontalidade e, acima de tudo, por ter norteado o rumo desta tese.

Agradeço a receptibilidade da empresa Francisco de Andrade - Metalomecânica por ter albergado este meu projecto, cuja exequibilidade se deveu à cortesia da NORCAM que forneceu as licenças dos produtos utilizados FeatureCAM e PowerMILL.

Mais, reservo também um breve momento de agradecimento a todos aqueles que indirectamente contribuíram para esta que poderá ser considerada a apoteose do meu percurso académico, com particular ênfase na retaguarda familiar constituída por: pai, mãe, irmã e cunhado.

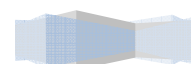
Por último, mas não de menor importância, gostaria de agradecer à minha namorada que revelou constituir-se como uma estaca basilar essencial à estabilidade emocional no decurso deste trajecto, amenizando-o mesmo nos momentos mais agrestes.



Índice

1. Resumo.....	3
2. Abstract	4
3. Objectivo	5
4. Empresa.....	5
5. Introdução	6
a) Torneamento	6
a.1 - Parâmetros geométricos	6
b) Fresamento	10
b.1 - Variáveis e Parâmetros de Corte.....	11
b.2 - Tipos de fresamento.....	12
b.3 - Tipos de fresas	15
c) Outros serviços.....	19
d) Fresadora Bridgeport Interact 4 Series 2.....	20
e) Controladores NC.....	20
f) Tipos de programação	22
f.1 - Programação directa na máquina – MDI (Manual Data Input)	22
f.2 - Programação Manual.....	23
f.3 - Programação auxiliada por computador (Software CAM)	23
g) Estratégias de maquinação	24
h) Do Software CAM ao Controlador CNC	27
i) Pós-processamento	27
j) Software DNC.....	28
k) Simulação	28
l) Softwares utilizados	30
6. Componente prática.....	34
a) Instalação da máquina fresadora Bridgeport Interact 4 Series 2 na empresa Francisco Andrade - Metalomecânica	34
b) Software DNC utilizado – TNCRemoNT	37
b.1 - Passos para configuração da ligação.....	37
c) Instalação das aplicações CAD/CAM	40
d) Análise da viabilidade económica da aquisição de um sistema CAD/CAM na empresa Francisco Andrade - Metalomecânica.....	42
Parte 1 – Aprendizagem da linguagem ISO da Heidenhain.....	42
Parte 2 – Estudo de peças habitualmente fabricadas na empresa.....	43

Parte 3 – Estudo de peças encomendadas após a instalação das ferramentas CAD/CAM na empresa	51
Parte 4 – Discussão dos dados adquiridos.....	56
Parte 5 – Elaboração da estrutura do sítio de internet	56
7. Conclusões	59
8. Sugestões.....	61
9. Bibliografia	61
ANEXO I	63
ANEXO II	75
ANEXO III.....	78
ANEXO IV.....	81
ANEXO V	84



1. Resumo

Para a elaboração desta tese foi realizado um estágio na empresa *Francisco Andrade – Metalomecânica*. A empresa adquiriu a sua primeira fresadora CNC sem ter qualquer conhecimento sobre programação NC. O estágio consistiu em:

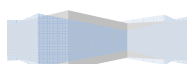
- Dominar os comandos NC visando a realização programação manual na máquina;
- Instalar o novo equipamento na empresa assim como o sistema de transmissão de dados (computador – controlador da máquina);
- Realizar testes de verificação do estado da instalação;
- Após instalação de duas aplicações CAD/CAM (PowerMILL e FeatureCAM), determinar a mais indicada para o tipo de peças feitas na empresa;
- Elaborar o estudo de viabilidade económica da instalação da solução escolhida;
- Divulgar a empresa através da elaboração de um sítio na internet.

De forma a verificar o tipo de solução CAD/CAM mais indicada para empresa, foram analisadas três peças que a empresa produz habitualmente e outras três que foram solicitadas após a existência das aplicações CAD/CAM na empresa.

Nas três primeiras peças (peças habitualmente feitas pela empresa) foram analisados os custos da empresa (máquina/hora e homem/hora) verificando a diferença para os diferentes métodos possíveis (através de FeatureCAM, PowerMILL, programação manual e maquinação convencional).

Para as peças requeridas após a implementação dos sistemas CAD/CAM apenas foram analisados os tempos gastos na produção das peças com a solução CAD/CAM mais indicada para a empresa (FeatureCAM).

A implementação de uma solução CAD/CAM na empresa poderá permitir o fabrico de peças que outrora teriam de ser descartadas devido às suas geometrias e complexidade.



2. Abstract

This thesis is based in the work developed during an internship realized in the company *Francisco Andrade – Metalomecânica*, which acquired its first CNC milling machine without having any knowledge about NC controls. This internship consisted on:

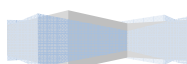
- Controlling NC commands in order to be able of manually program in the machine;
- Install new equipment in the company as well as the data transmission system (computer - machine controller);
- After installation of two applications CAD / CAM (PowerMILL and FeatureCAM) determine the most suitable for the type of parts made in the company;
- Develop the economic feasibility study of installing the chosen solution;
- Promote this company through the web, by constructing its own website;

In order to find the most suitable CAD/CAM solution for this company, three products usually produced by the company were analyzed, as well as three other which were requested after the installation of the CAD/CAM softwares.

In the first case, of the three usually produced products, the analysis focused on the company's expenses (machine/hour and man/hour) verifying the difference between the possible available methods: FeatureCAM, PowerMILL, manual programming and conventional machining.

In the second case, of the products requested after the implementation of the CAD/CAM softwares, the analysis focused only on the time spent on the production with FeatureCAM, which was considered the most appropriated CAD/CAM solution for this company.

The implement of a CAD/CAM solution in the company *Francisco de Andrade – Metalomecânica* would allow the production of more geometrically complex products, which otherwise would have to be discarded.



3. Objectivo

Esta tese teve como objectivo principal a implementação de uma solução CAD/CAM na empresa *Francisco Andrade – Metalomecânica*, uma vez que a empresa adquiriu a sua primeira máquina fresadora CNC (uma fresadora da marca Bridgeport, modelo Interact 4 Series 2), mas não dispunha de nenhuma aplicação CAD/CAM, nem conhecimentos de programação NC (controlo numérico). Para tal, foi realizado um estágio nesta empresa de Março a Junho de 2010, onde se pretendeu cumprir os seguintes pontos:

- Domínio dos comandos NC visando a realização de programação manual na máquina;
- Instalação do novo equipamento na empresa assim como o sistema de transmissão de dados (computador – controlador da máquina);
- Realização de testes de verificação do estado da instalação;
- Instalação de duas aplicações CAD/CAM (FeatureCAM e PowerMILL);
- Determinação do tipo de solução CAD/CAM mais indicada;
- Elaboração do estudo de viabilidade económica da instalação da solução escolhida;
- Divulgação a empresa através da elaboração de um sítio na internet.

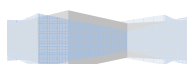
4. Empresa

A empresa, *Francisco Andrade – Metalomecânica*, foi fundada em 1989 por Francisco Fernando Gomes de Andrade. Aquando a sua fase inicial, a empresa dispunha apenas de dois tornos mecânicos e dois colaboradores. Com o evoluir do tempo a empresa foi-se alargando, até que em 1998, por via desta expansão, aumentou o seu espaço físico.

Actualmente, a empresa possui uma grande variedade de máquinas e seis colaboradores.

É uma empresa que executa vários serviços ligados à metalomecânica, tais como:

- a) Torneamento;
- b) Fresamento;
- c) Soldadura;
- d) Furação.



5. Introdução

As primeiras noções teóricas que foram necessárias para a realização desta tese focaram-se nos serviços prestados pela empresa, com particular atenção aos principais métodos de maquinação que a empresa realiza (torneamento e fresamento).

a) Torneamento

O torneamento é um processo de maquinação que produz peças de revolução em máquinas designadas “tornos”. O processo baseia-se num sólido indefinido que é feito girar em torno do eixo da máquina operatriz, que executa o trabalho de maquinação (o torno), ao mesmo tempo que uma ferramenta de corte estacionária se move ao longo de dois eixos, retirando material perifericamente, de modo a transformá-lo numa peça bem definida, tanto em relação à forma como às dimensões. Na figura 1 está ilustrado este processo [1, 2, 3, 4].

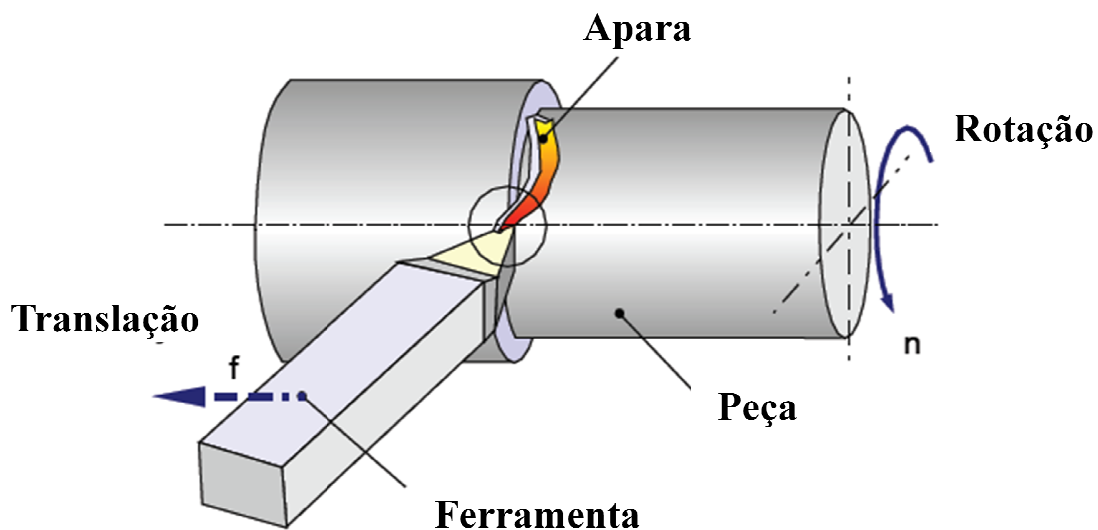


Figura 1 – Ilustração do processo de torneamento.

a.1 - Parâmetros geométricos

O torneamento segue três parâmetros geométricos:

1 – Rotação da peça – Corte

É o movimento entre a ferramenta e a peça, que, sem o movimento de avanço, gera apenas uma remoção de apara durante um curso (uma volta). A sua velocidade de rotação é dada em rotações por minuto (rpm). Cada peça com diâmetro diferente terá uma velocidade de corte diferente, mesmo se a velocidade de rotação for a mesma [3, 5].

2 – Translação da ferramenta – Avanço

Consiste no movimento entre a peça e a ferramenta, que, junto com o movimento de corte, gera um levantamento repetido ou contínuo de aparas durante vários cursos ou voltas. Em muitos tornos, o avanço está directamente relacionado com a velocidade de rotação [3, 5].

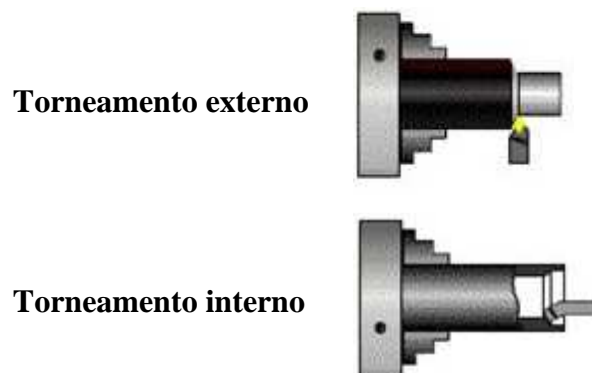
3 – Transversal da ferramenta – Profundidade

Esta refere-se à espessura da camada a ser retirada da peça. O factor determinante neste caso prende-se com o diâmetro da peça que vai ser reduzido duas vezes mais que a profundidade de corte, uma vez que essa camada é removida de ambos os lados do trabalho [3, 5].

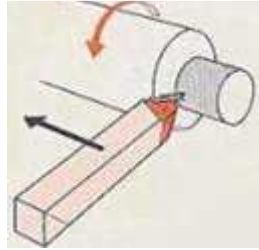
Este tipo de maquinação pode ser executada manualmente ou usando um CNC (controlo numérico computadorizado) da máquina. O torneamento manual é feito em máquinas convencionais ou outros tipos de tornos, que não são informatizados, requerendo por isso uma constante supervisão por parte do operador [3, 4].

O torneamento também pode ser feito utilizando tornos automáticos controlados por operários especializados: serralheiros qualificados e torneiros.

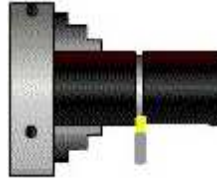
Existem várias operações possíveis de executar através do torneamento, tais como: torneamento externo, torneamento interno, facejamento, sangramento, rosqueamento e recartilhamento. A figura 2 ilustra estas diferentes operações.



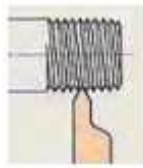
**Torneamento
cilíndrico**



Sangramento



Roscagem a boril



Recartilhagem

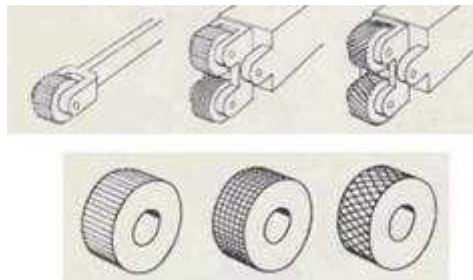


Figura 2 – Diferentes tipos de operações de torneamento [3].

A empresa em causa possui vários tipos de tornos, sendo os tornos convencionais os mais utilizados. Servem de amostra os casos das figuras 3, 4 e 5, acompanhados das respectivas características.

Marca: Eduardo Ferreirinha e Irmão
Tipo: Torno mecânico paralelo
Distância sobre barramentos: 540 mm
Distância sobre carro: 360 mm
Distância entre pontos: 1500 mm
Diâmetro do furo da árvore: 50 mm



Figura 3 – Torno EFI 1.

Marca: Eduardo Ferreirinha e Irmão
Tipo: Torno mecânico paralelo
Distância sobre barramentos: 400 mm
Distância sobre carro: 270 mm
Distância entre pontos: 1500 mm
Diâmetro do furo da árvore: 50 mm



Figura 4 – Torno EFI 2.

Marca: Cazeneuve
Tipo: Torno mecânico paralelo
Distância sobre barramentos: 575 mm
Distância sobre carro: 340 mm
Distância entre pontos: 1500 mm
Diâmetro do furo da árvore: 50 mm



Figura 5 – Torno Cazeneuve.

As peças obtidas por torneamento na empresa são em geral para clientes do ramo da decoração, utilizando materiais tão díspares como: nylon, aço inoxidável, ferro fundido, alumínio, cobre, entre outros. A figura 6 representa exemplos de algumas peças que a empresa produz.



Figura 6 – Exemplo de peças produzidas na empresa através de torneamento.

b) Fresamento

O fresamento é um processo de maquinação em que se utilizam ferramentas multi-cortantes de geometria definida. Através deste processo de maquinação é possível gerar superfícies maquinadas pela remoção progressiva de uma quantidade pré-determinada de material da peça de trabalho, a uma taxa de movimento ou avanço relativamente baixa, mediante uma fresa (ferramenta de corte) que gira a uma velocidade comparativamente alta. Este processo está representado na figura 7 [1, 2, 3].

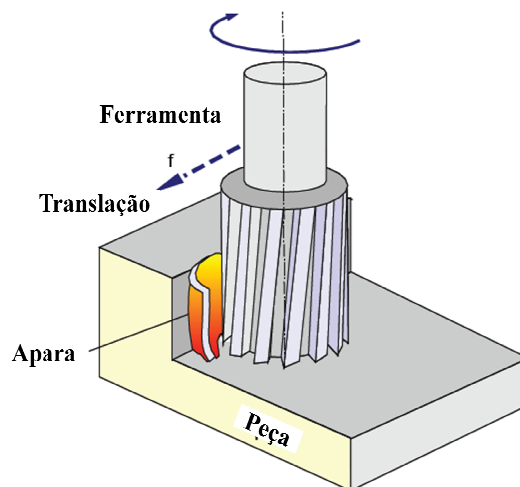


Figura 7 – Ilustração da operação de fresamento.

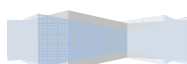
A variedade de máquinas, a sua flexibilidade e a diversidade do tipo de ferramentas, fazem com que o fresamento tenha uma larga aplicação no campo da maquinação. As vantagens deste método comparativamente a outros, encontram-se na variedade de formas e superfícies que podem ser geradas, na qualidade do acabamento da superfície maquinada e nas altas taxas de remoção da peça [2, 4, 5].

No fresamento, o processo de corte é intermitente e a peça possui uma espessura variável. Por cada rotação da ferramenta, cada um dos gumes remove uma determinada quantidade de material da peça. O facto de o corte ser intermitente provoca tensões que comprometem o desempenho das ferramentas, podendo mesmo reduzir significativamente o seu período de vida útil [2, 3].

b.1 - Variáveis e Parâmetros de Corte

No fresamento, assim como nos restantes processos de maquinação, existe uma série de parâmetros de corte a considerar. Eles descrevem quantitativamente os movimentos, as dimensões e outras características da operação de corte. Os parâmetros que descrevem o movimento da ferramenta e/ou peça são:

- **Movimento de rotação** (n) [rpm] - número de voltas por unidade de tempo que a fresa dá em torno do seu eixo.
- **Velocidade de corte** (vc) [m/min] - velocidade instantânea do ponto seleccionado sobre o gume em relação à peça. No fresamento, o movimento de corte é proporcionado pela rotação da ferramenta. A velocidade de corte é, então, uma velocidade tangencial. As grandezas relacionadas com o movimento de corte recebem o índice “c”. (Ex: vc)
- **Avanço por dente** (fz) [mm/dente] - consiste na distância linear percorrida por um dente da ferramenta no intervalo em que dois dentes (ou gumes) consecutivos entram em corte.
- **Velocidade de avanço** (vf) [mm/min] - velocidade instantânea do ponto seleccionado sobre o gume em relação à peça. No fresamento, o movimento de avanço é provocado pela translação da ferramenta sobre a peça ou vice-versa.
- **Número de dentes** (z) - É o número total de dentes (ou gumes) que a fresa possui.



- **Profundidade de corte** (Penetração passiva) (a_p) [mm] - distância que a ferramenta penetra na peça perpendicularmente ao plano de trabalho (na direcção do eixo da fresa).
- **Penetração de trabalho** (a_e) [mm] - distância que a ferramenta penetra na peça, medida no plano de trabalho e perpendicular à direcção de avanço.
- **Tempo de corte** (t_c) [min] – período em que a ferramenta está efectivamente em corte.
- **Taxa de remoção de material** (Q) [mm³/min] - volume de material maquinado por unidade de tempo [2, 4].

Configuração de avanços e a rotações

O cálculo da velocidade de avanço de uma ferramenta depende de vários factores (material a maquinar, tipo de fresa, diâmetro da fresa, etc.). Uma boa prática para o calculo de avanços e rotações é:

- I. Verificar a velocidade de corte (V_c)
- II. Verificar o avanço por dente (f_z)
- III. Calcular a velocidade de rotação da fresa (N)
- IV.

$$N = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} \quad D - \text{diâmetro da fresa (mm)}$$

- V. Calcular a velocidade de avanço (V_f)

$$V_f = f_z \times N \times Z_n \quad Z_n - \text{n}^\circ \text{ de navalhas da fresa}$$

Para as fresas esféricas o processo é exactamente igual com a excepção de se usar o diâmetro efectivo (D_e) da ferramenta em vez do diâmetro nominal (D). Para calcular o diâmetro efectivo usa-se a fórmula:

$$D_e = 2 \times \sqrt{a_p \times (D - D \times a_p)} \quad a_p - \text{profundidade de corte (mm)}$$

b.2 - Tipos de fresamento

Tendo em conta a operação de fresamento, podem-se distinguir dois métodos principais, o **periférico** e o **frontal** [2, 3].

Quanto à relação entre o sentido das velocidades de corte e de avanço, distinguem-se o **fresamento concordante** e o **fresamento discordante**. Para essa distinção, considera-se que a fresa apenas tem rotação, enquanto a peça apenas avança contra a ferramenta [2, 3].

Fresamento periférico:

No **fresamento periférico ou tangencial**, a superfície maquinada encontra-se, de modo geral, paralela ao eixo da fresa. A profundidade de corte é também significativamente maior que a penetração de trabalho [2, 6].

No **fresamento periférico concordante** (ver figura 8), os sentidos das velocidades de corte e de avanço são aproximadamente os mesmos, e a espessura da aparta decresce com o evoluir da sua formação [2, 7].

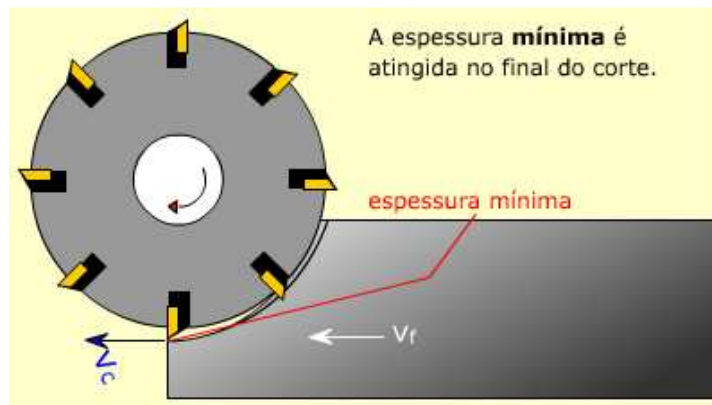


Figura 8 – Fresamento periférico concordante [2].

No **fresamento periférico discordante** (ver figura 9), ocorre precisamente o contrário do acima referido, ou seja, os sentidos das velocidades de corte e de avanço são opostos e a espessura da aparta cresce durante a sua formação. Com este tipo de fresamento, teoricamente, no momento de entrada do gume da fresa no material apenas ocorre esmagamento de material, o que provoca tensões e vibrações na ferramenta que podem comprometer a sua integridade física [2, 7].

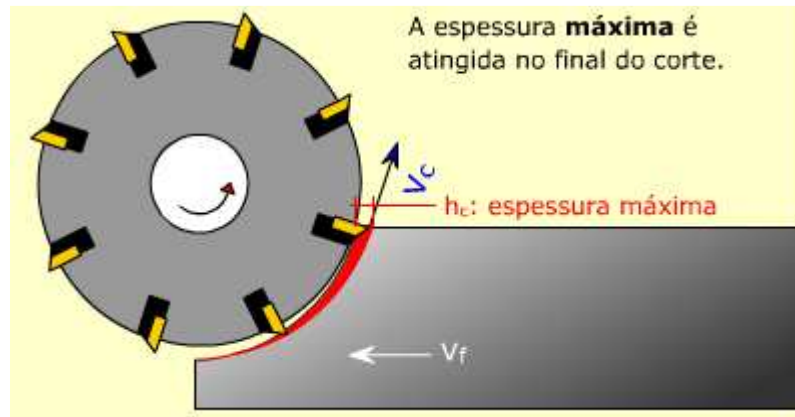


Figura 9 – Fresamento periférico discordante [2].

Quando se compara o fresamento concordante com o discordante, verifica-se que o concordante provoca:

- Menor desgaste e, conseqüentemente, maior vida útil da ferramenta;
- Melhor qualidade superficial;
- Menor potência requerida para o corte;
- Menor vibração [2].

No entanto, apesar dessas vantagens, o fresamento discordante deve ser o escolhido quando:

- Existe folga no fuso da mesa da máquina-ferramenta;
- A superfície da peça tiver resíduo de areia de fundição, for muito irregular ou o material for proveniente do processo de forjamento [2].

Fresamento frontal:

No **fresamento frontal** (ver figura 10), também conhecido por fresamento de topo, a superfície maquinada é gerada pelo gume secundário e encontra-se normalmente perpendicular ao eixo da fresa. Neste tipo de fresamento, se a largura de corte for maior que o raio da ferramenta, ocorrem simultaneamente os dois tipos de fresamento, concordante e discordante, isto é, analisando apenas a trajectória de um dente da fresa, primeiro começa como fresamento discordante, passando, a certo momento, a concordante. Ou seja, a espessura da aparada cresce até um valor máximo na linha que passa pelo centro da fresa e com direcção igual à do avanço, e, a partir deste ponto, o corte passa a ser concordante, fazendo com que a espessura da aparada decresça até o gume sair da peça [2, 3].

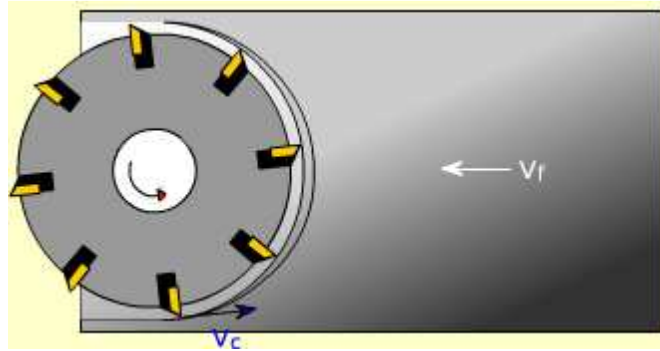


Figura 10 – Fresamento frontal.

b.3 - Tipos de fresas

A ferramenta utilizada no fresamento denomina-se por fresa. Na indústria, as fresas dividem-se em dois tipos:

- **Fresas porta-plaquetes ou de pastilha recambiável** – constituídas por um corpo de suporte onde são montadas plaquetes ou insertos de carbonetos sinterizados que são substituídos quando o desgaste ultrapassa o admissível.
- **Fresas inteiriças de navalhas** – Normalmente fabricadas em HSS, HSS/Co ou em carbonetos sinterizados e, quando as suas arestas sofrem de um desgaste além do admissível, estas são afiadas [8].

Tipos de fresas porta-plaquetes ou de pastilha recambiável:

- Fresa de facejar** – fresas de grandes diâmetros (40 – 50 mm no mínimo) podendo atingir os 500 mm. Distinguem-se pelo tipo de plaquete: triangular, quadrada, redonda, rectangular, ou outra; pelo seu ângulo de posição: 90°, 75°, 45°, etc.; e pela sua geometria de corte: duplo-negativas, duplo-positivas e positivo-negativas.
- Fresas de topo** – fresas frontais de diâmetros relativamente pequenos, que podem atingir no máximo 50 ou 80 mm de diâmetro. São caracterizadas pelo seu topo: fresas de topo direito de ranhurar, fresas de topo esférico, fresa de chanfrar, etc.
- Fresa de disco e fresas de corte** – fresas em forma de disco, cujos diâmetros começam nos 80 mm podendo atingir os 300 mm, com espessuras normalmente inseridas entre os 2 e os 6 mm [8].



Figura 11 – Exemplos de fresas porta-plaquetas [9].

Tipos de fresas inteiriças de navalhas:

- a) **Fresas de topo direito ou de acabamento** – fresas frontais de pequenos diâmetros, até 20 mm, normalmente compostas por 4 ou 6 navalhas helicoidais em HSS, HSS/Co ou carbonetos sinterizados, revestidas ou não, e destinam-se a operações de pequenos fresamentos em geral ou a operações de acabamento.
- b) **Fresas de topo direito de furar e ranhurar ou de dois cortes** – fresas idênticas às anteriores mas só com 2 ou 3 navalhas, o que lhes permite cortar com o topo e com a aresta lateral, possibilitando a execução simultânea de operações de furar e ranhurar.
- c) **Fresas de topo esférico** – fresas com a ponta esférica que podem ter 2, 3 ou 4 navalhas helicoidais. Destinam-se ao fresamento de canais cilíndricos, tronco-cônicos e superfícies complexas a 3 ou mais eixos.
- d) **Fresas de forma** – neste grupo de fresas podem-se incluir vários tipos de fresas, tais como: fresas cónicas de ângulo divergente, fresas cónicas de ângulo convergente, fresas para ranhuras em T, fresas quarto de círculo, etc.
- e) **Fresas cilíndricas** – fresas de corte tangencial de diâmetros superiores a 32 mm. Podem-se incluir neste grupo: fresas de facejar, fresas angulares e bi-angulares, fresas de disco, etc [8].



Figura 12 – Exemplos de fresas inteiriças [10].

A empresa possui vários tipos de fresadoras, atende-se portanto nos exemplos apresentados nas figuras 13 e 14 e respectivas características.

Marca: MAHO – MH 600

Curso da máquina: X – 500 mm,
Y – 400 mm,
Z – 400 mm.

Avanço máximo em vazio – 1200 mm/min.

Avanço máximo em corte – 500 mm/min

Velocidade de rotação: 40 – 2000 rpm

Controlador: Heidenhein TNC 121



Figura 13 – Fresadora MAHO.

Marca: Cincinnati

Tipo: Fresadora vertical

Curso da máquina: X - 760 mm
Y - 250 mm,
Z - 430 mm

Velocidade de rotação: 96 - 3600 rpm



Figura 14 – Fresadora Cincinnati.

As peças obtidas por fresamento na empresa são em geral para clientes do ramo automóvel, trabalhando com materiais como são exemplo: o nylon, aço inoxidável, alumínio, cobre. Exemplos de algumas destas peças podem ser vistos na figura 15.



Figura 15 – Exemplo de peças produzidas na empresa através de fresamento.

c) Outros serviços

Apesar da maior parte dos serviços requeridos na empresa serem de torneamento e fresamento, como já foi referido, a empresa também presta outros serviços, que englobam actividades diversas, tais como:

- Soldadura;
- Furação;
- Rectificação;

A empresa dispõe também de um departamento de decoração em que são produzidas peças originais. Esses objectos servem-se de vários tipos de processos, justificando a necessidade da empresa possuir uma vasta diversidade de máquinas. Alguns exemplos de peças criadas na empresa para fim decorativo podem ser vistos na figura 16.



a)



b)



c)

Figura 16 –

- a) Cinzeiro de pé
- b) Afinador de violoncelos
- c) Decantador de vinho

d) Fresadora Bridgeport Interact 4 Series 2

Como já foi referido, a empresa *Francisco Andrade – Metalomecânica* adquiriu a sua primeira máquina fresadora CNC, mas não dispunha de nenhuma aplicação CAD/CAM, nem colaboradores com conhecimentos de programação NC. Até então, todos os serviços realizados nesta empresa eram elaborados com as máquinas acima referidas. As características desta fresadora estão representadas na figura 17.

Marca: Bridgeport

Origem: Inglaterra

Ano de fabrico: 1989

Tipo de cone: BT 40

Modelo: Interact 4 Series 2

Fresadora CNC vertical

Mesa: 965 x 380 mm

Curso da máquina: X – 760 mm

Y – 370 mm

Z – 335 mm

Velocidade de rotação: 40 - 4000 rpm

Avanço máximo – 5000 mm/min.

Sistema de refrigeração

Controlador: Heidenhain TNC 155



Figura 17 – Fresadora CNC Bridgeport

e) Controladores NC

Existem vários fabricantes de controladores NC (*Fagor, Fanuc, Heidenhain, Fadal, etc.*). Os controladores NC são programados em linguagem ISO ou em linguagem proprietária (por exemplo: *Heidenhain*), e apesar de a linguagem ISO ser um standard, cada fabricante implementa variações próprias. Os parâmetros essenciais que caracterizam os controladores de uma máquina CNC são:

- **Tempo de transferência de bloco** – tempo que o CNC demora a receber um bloco de informação do programa. Quanto menor for este tempo melhor, uma vez que a capacidade de receber informação rapidamente faz correr o programa de forma suave.
- **Tempo de interpolação** – tempo que o CNC trabalha para criar segmentos de interpolação. Todos os arcos e círculos são introduzidos como comandos de linhas simples, o que implica que o CNC gere pequenos movimentos lineares. O tempo de interpolação determina o tamanho dos incrementos para uma determinada velocidade de avanço.
- **Tempo de processamento de bloco** – tempo que o controlador necessita para comandar os eixos e verificar a sua posição. Este deve ser o mais curto possível, uma vez que se for muito longo, a posição final dum determinado percurso pode ser atingida antes que a ordem para o movimento seguinte seja executada [11].



Figura 18 – Heidenhain TNC 155

O controlador da fresadora Bridgeport Interact 4 Series 2 (figura 18) tem como principais características:

- Capacidade de programação no formato conversacional próprio da Heidenhain (não utiliza códigos G);

- Posse de 2 registos individuais: Um para inserir/editar programas e outro para correr um programa, ou seja, enquanto um programa está a ser executado, é possível editar outro ao mesmo tempo;
- A origem pode ser estabelecida em qualquer lugar desejado e ser mudada para outro local, sempre que se desejar;
- Possibilidade de operar em qualquer modo de posicionamento, incremental ou modo de posicionamento absoluto, podendo-se mudar para qual se deseja em qualquer altura, sendo o modo absoluto o modo por utilizado defeito;
- Possibilidade de maquinar por interpolação linear nos planos X, Y, Z, XY, XZ, YZ;
- Possibilidade de maquinar por interpolação circular nos planos XY, XZ e YZ e executar planos de fresagem (interpolação helicoidal);
- Possibilidade de operar tanto em milímetros como em polegadas;
- Possibilidade de ser programado tanto em coordenadas cartesianas (XYZ) como em coordenadas polares;
- Posse de ciclos pré-programados de furação, caixas circulares, caixas rectangulares, entre outros;
- Capacidade de fazer a compensação de ferramentas;
- Capacidade de suportar 3100 linhas de código, ou 32 programas, sendo que nenhum programa pode conter mais que 1000 linhas de código [12].

f) Tipos de programação

f.1 - Programação directa na máquina – MDI (Manual Data Input)

Este tipo de programação está direccionado para a criação do programa on-line (directamente no controlador) sem que para isso o operador / programador tenha que memorizar a sintaxe dos códigos de programação. Na prática, o controlador “conversa” com o utilizador. A cada código de programação o controlador vai sequencialmente apresentando a sintaxe e pedindo ao operador que introduza os respectivos valores. Com a evolução dos controladores tornou-se bastante interactiva e amigável, com destaque para os auxiliares gráficos que a suportam. Aplica-se, por exemplo, na execução de ciclo de furação (linear, circular, grelha), na execução de caixa de geometria fixa ou variável, etc [8, 13].

f.2 - Programação Manual

Como a própria designação reflecte, este método de programação, consiste na elaboração de um programa NC manualmente. O seu completo domínio é fundamental para a correcta compreensão e aplicação dos restantes métodos. Esta técnica é ainda praticada por muitos dos utilizadores, na elaboração de sequências de códigos, quer directamente no controlador ou recorrendo a um editor de texto em PC continua a ser comum, principalmente nas empresas onde os componentes a maquinar não são de grande complexidade geométrica. Neste método, o programador interpreta o desenho da peça, calcula os pontos de trajectória da ferramenta, preenchendo um formulário que poderá ser digitado na máquina, ou enviado ao operador da máquina, que também digitará directamente na máquina [8, 13, 14].

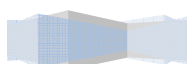
Estes dois métodos de programação (MDI e Manual) são utilizados para maquinação 2D e 2 ½ D. Não são muito produtivos, uma vez que se gasta muito tempo no cálculo da trajectória, sendo a sua principal desvantagem a ocorrência de erros causados por parte do operador, por exemplo em ciclos de furação.

f.3 - Programação auxiliada por computador (Software CAM)

De forma a simplificar o processo de programação de uma maquinação, foi desenvolvido um sistema designado por CAM (Computer Aided Manufacturing). Um sistema CAM pode ser definido como um software que corre num computador e auxilia um programador CNC no processo de programação, na medida em que estes sistemas permitem gerar percursos NC (comando numérico) de uma forma semi-automática.

Entende-se por comando numérico todo o dispositivo capaz de dirigir os movimentos de posicionamento de um órgão mecânico, em que os comandos relativos a esse movimento são elaboradas de uma forma totalmente automática a partir de informações numéricas ou alfanuméricas, podendo estas ser definidas manualmente ou através de um programa (CAM) [13, 15].

Muitas aplicações CAM estão associadas a aplicações CAD, uma vez que esta parceria elimina a necessidade de redefinir a configuração de peças para o sistema CAM e permite fazer alterações no design da peça, consoante aquilo que se pretende maquinar. Ou seja, o programador CNC irá simplesmente especificar as operações de maquinação a serem utilizadas para obter a peça final [15, 16].



As principais vantagens deste método de programação, residem no facto de não haver necessidade de realizar os cálculos da trajectória de uma ferramenta, deixando esse trabalho ao cargo dos recursos computacionais, eliminando assim os erros associados à programação manual.

A principal desvantagem deste tipo de programação é a baixa produtividade associada, uma vez que qualquer aplicação CAM cria programas NC de uma forma quase genérica, gastando muitas vezes alguns segundos desnecessários, segundos esses, que em grandes séries traduzem-se em horas/dias.

As aplicações CAM são, normalmente, associados a aplicações que geram programas NC para máquinas fresadoras, o que é errado, uma vez que existem vários tipos de aplicações CAM distintas, designadamente:

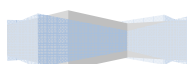
- Geração de percursos NC para fresadoras e centros de maquinação;
- Geração de percursos NC para tornos;
- Geração de percursos NC para máquinas de electro-erosão por fio;
- Geração de percursos NC para corte por laser;
- etc [15].

Apesar de existirem alguns desenvolvimentos tecnológicos importantes, nomeadamente no campo da maquinação no sentido da aplicação CAM conseguir gerar os programas sem interacção do utilizador, ainda não é possível fazer a programação numa forma automática, uma vez que não existe nenhuma aplicação no mercado que seja capaz de analisar um modelo geométrico e decidir autonomamente qual a melhor estratégia para o fabrico, já que tal decisão depende de demasiados parâmetros. Neste momento esta tecnologia está limitada a uma escolha de fresas e de materiais bastante reduzidos [15].

g) Estratégias de maquinação

Os percursos de maquinação dividem-se em quatro grandes grupos: desbaste, re-desbaste, semi-acabamento e acabamento.

O **desbaste** tem como objectivo a remoção do máximo material possível no menor espaço de tempo. Nesta operação utilizam-se fresas rasas ou toroidais de



diâmetro grande, sendo o passo horizontal aproximadamente 80% do diâmetro da fresa. É sempre deixada uma sobreespessura de forma a proteger a peça a maquinar [15].

Existem várias estratégias de desbaste, nomeadamente:

- **Cópia:** A estratégia de desbaste chamada raster consiste em deslocar a fresa em passagens perpendiculares, com um incremento fixo em cada passagem. Quando uma camada estiver terminada, a fresa desce para a próxima altura Z, de modo a maquinar essa camada. Designa-se o incremento, ou passo, por "stepover" e o incremento vertical por "stepdown". Esses parâmetros dependem do tipo de material e das características da fresa. Como esta estratégia deixa material em forma de "escadinhas" em torno do modelo, pode-se especificar uma passagem extra em cada camada, para limpar esse excesso de material [15].
- **Offset:** Esta estratégia consiste em maquinar cada camada ao longo de um percurso, que resulta de vários offset's sucessivos do modelo [15].

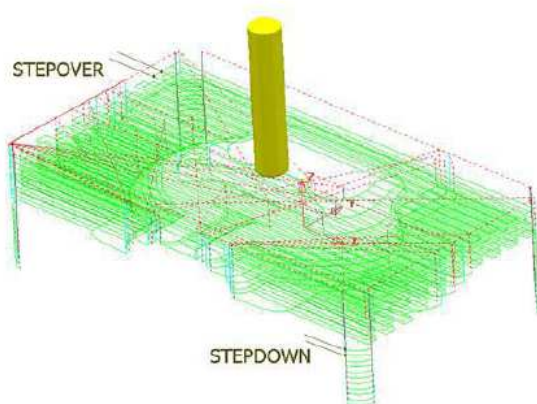


Figura 19 – Percurso de maquinação de desbaste Raster [15].

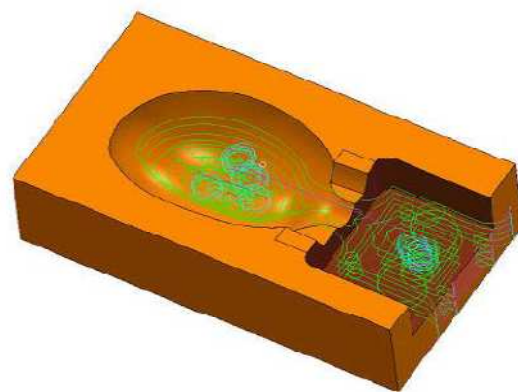


Figura 20 - Peça a maquinar através de uma estratégia de desbaste Offset [15].

O **re-desbaste** tem como objectivo desbastar, com uma fresa de diâmetro inferior à utilizada na operação de desbaste, as zonas que a fresa de desbaste não conseguiu aceder por ser demasiado grande. É um percurso baseado directamente num percurso de referência previamente definido (percurso definido na operação de desbaste), evitando assim a passagem da fresa em zonas que já foram maquinadas, economizando-se tempo [15].

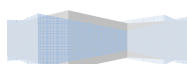
Esta operação reduz o grau de sobrecarga da ferramenta e proporciona uma taxa de remoção de material mais consistente para qualquer operação de acabamento subsequente.

O **semi-acabamento** tem como objectivo remover o excesso de material remanescente. As operações de semi-acabamento baseiam-se em operações de acabamento, mas que mesmo assim utilizam uma sobreespessura (> 0 mm), uma vez que ao avançar directamente para o acabamento as fresas podem partir devido ao seu tamanho e ao excesso de material [15].

O **acabamento** tem como objectivo remover o material equivalente à sobre-espessura deixada nas operações de semi-acabamento anteriores. Para tal, existem várias estratégias de maquinação para remover esse material, sendo umas mais indicadas para determinadas zonas que outras [15].

Existem várias estratégias de acabamento, tais como:

- **Projecção de um padrão (Raster, Radial, Espiral, Padrão):** Esta estratégia de acabamento consiste na projecção de um padrão, ao longo do eixo de Z, em cima do modelo que se pretende maquinar. Os diversos padrões disponíveis adaptam-se a diferentes geometrias, permitindo otimizar a maquinação: padrões raster, radial, espiral e definidos pelo utilizador [15].
- **Offset 3D:** Esta estratégia define o passo lateral da ferramenta relativamente a superfícies 3D, fornecendo consistência nas áreas planas. Contudo, esta estratégia não está indicada para zonas com inclinação acentuada (tipicamente acima de 30°). Nessas zonas deve-se utilizar a estratégia de Z Constante, recorrendo-se a um algoritmo para determinar a fronteira que limita ambas as estratégias. Esta fronteira permite separar as zonas propícias para serem utilizadas para a estratégia de offset 3D e para Z constante [15].
- **Z Constante (Z Constante, Z Constante Optimizado):** A maquinação Z Constante projecta cada caminho da ferramenta horizontalmente sobre o componente, a alturas fixas determinadas pelo Passo Vertical. Como a superfície do componente se torna rasa, o passo lateral actual da ferramenta aumenta, até se tornar inexistente nas áreas planas. Se não tivesse sido utilizada uma fronteira para limitar a zona aonde esta estratégia é aplicada, o resultado seria inaceitável [15].



- **Acabamento de Cantos (Pencil, MultiPencil, Costurar Canto, Cantos Longitudinais):** As estratégias de acabamento de cantos visam a redução de material deixado pelas ferramentas anteriores junto aos cantos. É normal utilizar uma ferramenta de referência para poder calcular qual o material que ainda não foi removido. Para zonas muito inclinadas devem-se utilizar estratégias transversais, enquanto que, as zonas planas podem ser maquinadas longitudinalmente [15].

h) Do Software CAM ao Controlador CNC

Após criados os percursos de maquinação através do software CAM, é necessário fazer chegar os códigos NC ao controlador, para tal têm que se percorrer duas fases intermédias: o pós-processamento e o software DNC (figura 21).

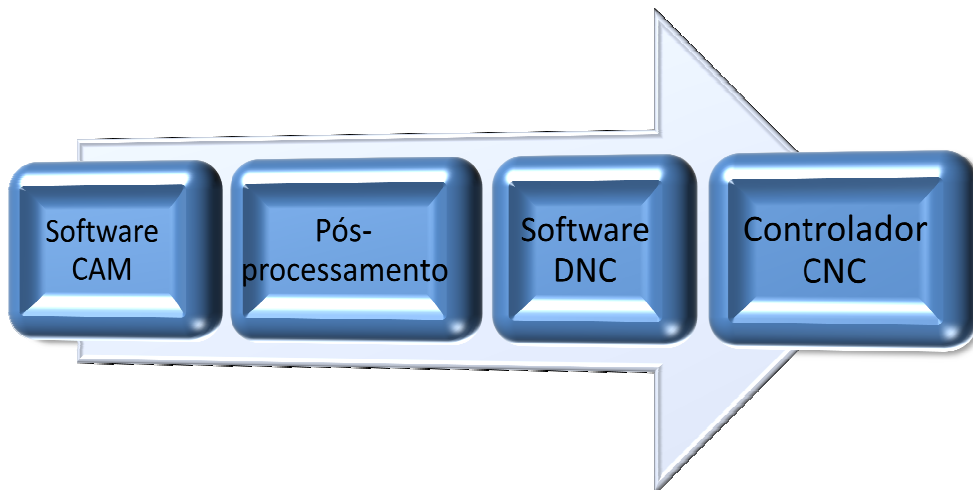


Figura 21 – Passos a percorrer desde a criação de percursos de maquinação (Software CAM) até fazê-los chegar ao controlador CNC.

i) Pós-processamento

Um bom processador é um dos componentes mais importantes dum sistema CAD/CAM. Sem o pós-processamento todo o processo de maquinação apenas se pode gerar virtualmente e não em máquinas reais. O papel de qualquer software CAM é gerar o código que conduz os movimentos dos eixos numa máquina CNC. A linguagem “nativa” dos softwares CAM tem de ser traduzida para a linguagem específica do controlador da máquina onde se pretende executar o programa [15, 17].

Este software precisa de responder às exigências e limitações do sistema CAM, máquina CNC e ambiente industrial.

Apesar de quase todos os controladores existentes utilizarem o mesmo tipo de linguagem (linguagem ISO), estes são praticamente incompatíveis entre eles, o que justifica ainda mais a importância do pós-processamento. Ou seja, para não ter de recalcular do início uma maquinação, o que poderá tornar o processo demasiado moroso, quando se pretende utilizar uma máquina com um controlador diferente do inicialmente previsto, a aplicação CAM permite traduzir de uma forma expedita, através do pós-processador, o percurso calculado para o controlador desejado [15, 17].

j) Software DNC

Uma vez criado o programa CAM é necessário transmiti-lo para o controlador CNC. Uma aplicação DNC baseia-se num programa de comunicações que envia programas NC e listas de parâmetros (configurações) de, e para o controlador de uma máquina, sendo estes programas enviados bloco a bloco com controlo de fluxo. Os controladores possuem uma memória intermédia, que assim que fica cheia, solicita ao DNC a paragem do envio de blocos; quando esta memória intermédia voltar a estar vazia, o controlador solicita novamente o envio de blocos. Estas comunicações requerem a utilização de cabos de série específicos, apesar de as máquinas CNC mais actuais já disporem de portas RJ-45 [15, 18].

Alguns sistemas DNC, apenas os mais desenvolvidos, são bastante sofisticados ao ponto de terem a habilidade de comunicarem com várias máquinas CNC simultaneamente.

k) Simulação

Como acontece com qualquer programa, os códigos NC devem ser analisados, de forma a evitar erros, tais como invasões e/ou colisões entre componentes das máquinas, etc. Outrora, quando os recursos computacionais não eram tão acessíveis, os programas criados eram analisados de forma a fazer a sua verificação e validação, maquinando a peça directamente na máquina, mas com um material macio e de baixo custo. Apesar de esta metodologia gerar vários problemas, muitas empresas ainda a usam para fazer a verificação dos percursos de maquinação criados. Alguns fabricantes substituem a ferramenta de corte por um tubo flexível e executam o programa numa

peça acabada para ver se há alguma interferência. Este processo é feito de forma lenta, substituindo tanto os movimentos rápidos como as taxas de alimentação por movimentos lentos, de forma a poder manter todas as zonas passíveis de colisões sob observação; se for detectado algum erro, o programa é parado, alterado e reiniciado. Em peças complexas, nomeadamente em máquinas de 5 eixos, este processo pode demorar dias e necessita de um operador/programador altamente qualificado, o que torna o processo muito dispendioso [17, 18].

Actualmente, com a evolução dos recursos computacionais, tornou-se possível otimizar as actividades de simulação e análise, reduzindo o tempo dispendido, minimizando a possibilidade de ocorrência de erros e ainda evitando os danos possíveis que possam surgir tanto para as máquinas como para os operadores. Podem-se evidenciar dois tipos de simulação de programas CNC com aplicações CAM. Um primeiro, que se limita a verificar a trajectória da ferramenta sobre a peça, permitindo ao programador verificar as dimensões do seu produto, analisar e corrigir contactos indevidos (invasões) entre a ferramenta e a peça, e analisar as estratégias de maquinação usadas (figura 22) [17, 18].

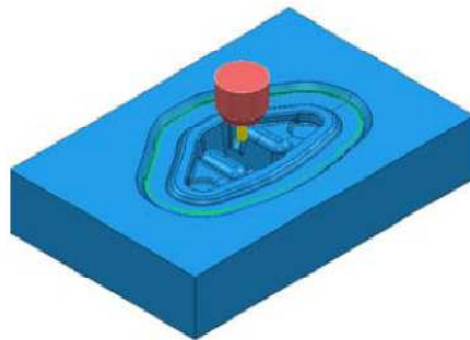


Figura 22 – Verificação da trajectória da ferramenta sobre a peça [25].

O outro tipo de simulação, permite ao programador visualizar detalhadamente a dinâmica do conjunto máquina-peça, possibilitando a verificação de possíveis colisões entre os componentes da máquina durante as trajectórias definidas pelo programador (figura 23).

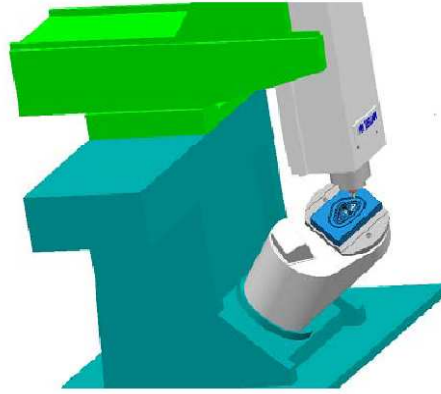


Figura 23 – Simulação do conjunto máquina-peça (verificação de colisões) [25].

O primeiro tipo de simulação referido é mais indicado para peças de baixa complexidade, ou para verificar rapidamente alguma trajectória programada, mesmo que o programa não tenha sido pós-processado. Já o segundo tipo é mais apropriado para a validação de programas CN de geometrias mais complexas (em máquinas com mais de 3 eixos), sendo imprescindível na maquinação de alta velocidade. Na simulação, as condições de fixação e de posicionamento das peças devem espelhar a realidade, o que implica que todos os elementos que possam entrar em contacto sejam modelados [17, 18].

1) Softwares utilizados

1.1 - PowerSHAPE

O PowerSHAPE é um software CAD que fornece um ambiente completo e confortável ao processo criativo da génese de um produto, aliado a um eficaz paralelismo entre conceito e forma real. O PowerSHAPE oferece uma liberdade inigualável de manipulação da forma das superfícies dum modelo CAD para a construção de modelos de arames (wireframe), permitindo fazer mudanças gerais com o recurso a operações sólidas de edição. O PowerSHAPE tem por mote a máxima: "*simples de criar, fácil de modificar*" [19, 20].

O PowerSHAPE é um software que oferece soluções eficazes tanto para designers como para fabricantes de ferramentas.

No ramo do design, o PowerSHAPE oferece um ambiente completo que permite a modelação e visualização de um conceito/produto de uma forma realista com recurso

às suas funcionalidades de renderização, animação e embalagem, em conjunto com as ferramentas de modelação de macho/cavidade [19, 20].



Figura 24 – Balança analítica modelada em PowerSHAPE e renderizada com o módulo PS-Render [21].



Figura 25 – Carro modelado em PowerSHAPE e renderizado com o módulo PS-Render [21].

No âmbito do fabrico de ferramentas, é necessária a preparação de modelos dos produtos a maquinar, o PowerSHAPE proporciona todos os instrumentos necessários para a modelação das ferramentas:

- Modelos de arames (wireframes) a três dimensões;
- Técnicas supremas de modelação de superfícies;
- Geração automática dos planos de apartação e das saídas;
- Separação automática entre macho e a cavidade.

Na concepção de ferramentas, insurge-se como um software que garante soluções, fornecendo ao utilizador as ferramentas necessárias para produzir um modelo complexo a partir de desenhos bidimensionais, modelos de superfícies ou sólidos incompletos, assegurando a conclusão de um projecto inicial de uma forma rápida e eficiente. A sua utilização permite aumentar consideravelmente a produtividade na modelação de peças 3D complexas. Modelos 3D que estejam incompletos ou com má definição, por exemplo, falta de fillets ou má trimagem de superfícies, sendo estes alguns dos maiores causadores de problemas ocorridos durante a geração dos percursos de maquinação [19, 20].

1.2 - PowerMILL

O PowerMILL é um sistema CAM autónomo que produz rapidamente trajectórias NC a partir de modelos CAD previamente modelados. Este software aceita modelos CAD que podem ser importados de qualquer CAD 3D via IGES, VDA, ACIS, STL ou directamente de CADDs, CATIA, PRO-E entre outros [19, 22].

É extremamente poderoso, contudo fácil de usar, e gera trajectórias de desbaste e acabamento que optimizam a produtividade das máquinas-ferramenta CNC, garantindo simultaneamente uma maquinação de alta qualidade tanto de modelos como de ferramentas. Com o PowerMILL podem-se importar geometrias geradas com um sistema de CAD 3D e maquiná-las de uma forma rápida, flexível e totalmente fiável, assegurando sempre que o corte do material se realiza de uma forma eficiente [19, 22].

Para que o período de formação dos utilizadores seja o menor possível, o programa está concebido para uma usabilidade intuitiva, que alude ao ambiente gráfico do Windows, possuindo também as suas funções, como por exemplo o “Copiar – Colar”, o “Undo”, etc.

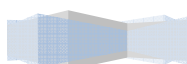
Devido à sua facilidade de utilização e a um conjunto completo de estratégias de maquinação, o PowerMILL é a ferramenta adequada para que a programação CAM seja feita na oficina pelos operadores das máquinas CNC.

O PowerMILL é composto por vários módulos:

- NC – módulo básico de criação de percursos NC;
- ADV NC – módulo avançado de criação de percursos NC
- 3+2 eixos – Módulo de criação de percursos NC para a maquinação indexada;
- 5 eixos - Módulo de criação de percursos NC para a maquinação de 5 eixos contínua;

1.3 - FeatureCAM

FeatureCAM é um sistema CAM fácil de usar, tão intuitivo que mesmo um iniciante ou um usuário ocasional pode rapidamente criar percursos de maquinação de uma forma fiável e consistente. A automação amigável dentro do software garante



custos de formação minimizados, aumentando o retorno sobre o investimento rapidamente. FeatureCAM automatiza a maquinação e minimiza o tempo de programação para as peças em fresadoras, tornos e fio EDM [23].

No FeatureCAM é possível:

- desenhar/importar o que se pretende maquinar;
- identificar os componentes da peça como características (furos, fresagem de superfície, etc.);
- simular o percurso de maquinação;
- gerar de imediato o código NC [23].

O FeatureCAM automaticamente:

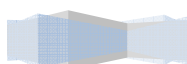
- selecciona ferramentas;
- calcula avanços e velocidades, incluindo passos laterais e profundidades de corte;
- determina estratégias de desbaste e acabamento;
- gera percursos de maquinação e código NC [23].

O FeatureCAM inclui:

- base de dados para ferramentas e velocidades de avanço;
- biblioteca de pós-processadores com a capacidade de criar pós-processadores novos, ou editar os já existentes;
- optimização de avanços;
- pacote de Simulação 3D integrados [23].

FeatureMILL 2.5D é a base do FeatureCAM, incluindo reconhecimento de percurso para a criação da peça.

Incorporando passos de produção avançados para múltiplos setups e peças, e estratégias para de furação e fresagem, o FeatureMILL 2.5D é poderoso e fácil de usar. Mais, o FeatureMILL 2.5D também possibilita simulação 3D [23].



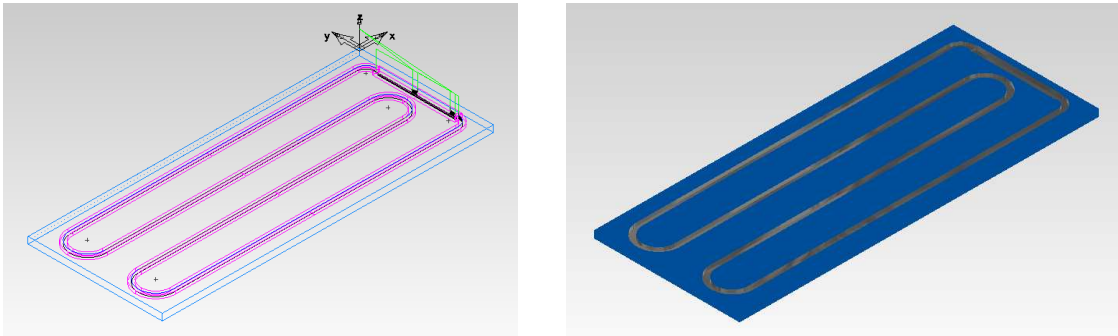


Figura 26 – Simulação 3D (FeatureCAM) [24].

6. Componente prática

a) Instalação da máquina fresadora Bridgeport Interact 4 Series 2 na empresa Francisco Andrade - Metalomecânica

O primeiro passo para a instalação da máquina na empresa foi ligar o controlador da máquina a um computador da empresa. Para tal foi necessário o seguinte material:

- 15 metros de cabo de série;
- 1 ficha Db 25 macho;
- 1 ficha Db 9 fêmea;
- 1 adaptador Db 9 – USB;
- 1 aparelho de soldar + solda.



Figura 27 – Cabo de série (15 metros)



Figura 28 – Db 25 (macho) + Db9 (fêmea)



Figura 29 – Adaptador Db9 - USB



Figura 30 – Aparelho de soldar + Solda

As configurações das fichas utilizadas são as que estão representadas na figura 31 e 32.

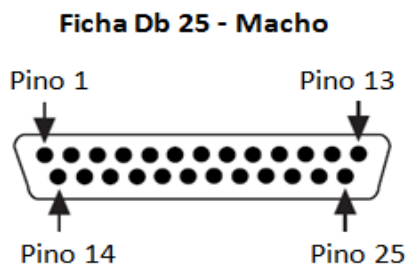


Figura 31 – Configuração da ficha Db 25 utilizada.

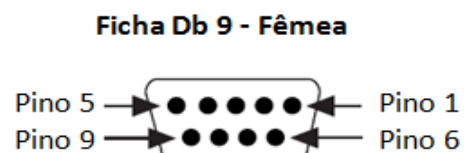


Figura 32 – Configuração da ficha Db 9 utilizada.

Segundo o manual do controlador, o esquema de ligação do cabo de transferência de dados segue o esquema da figura 33.

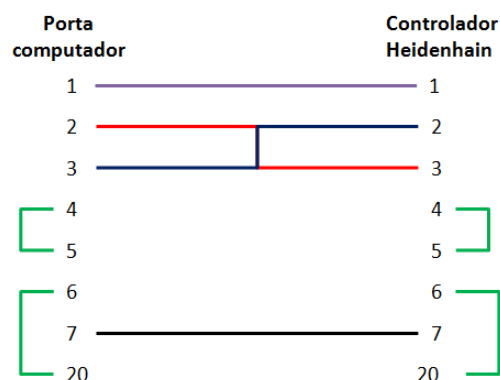


Figura 33 – Esquema de ligação utilizado para duas fichas Db 25 [12].

No entanto, foram utilizadas uma ficha Db 25 macho (para o controlador) e uma Db 9 fêmea (para o PC), pelo que a ligação passou a efectuar-se da forma representada na figura 34, cuja conversão Db 25 em Db 9 está descrita na tabela 1.

Tabela 1 – Conversão Db 25 em Db 9 [26].

Descrição	DB 25	DB 9
Transmissão de dados	2	3
Recepção de dados	3	2
Pronto a enviar	4	7
Envie os dados	5	8
Conjunto de dados pronto	6	6
Sinal de massa	7	5
Portador de dados detectado	8	1
Terminal de dados pronto	20	4

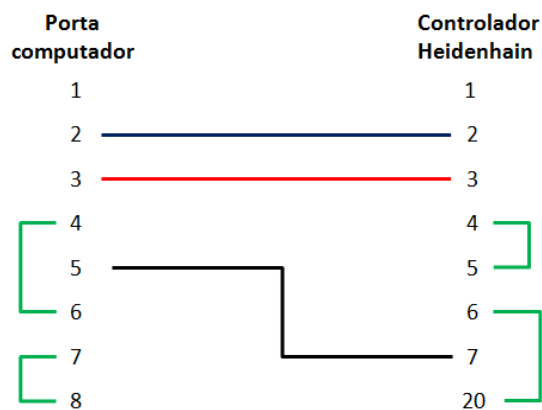


Figura 34 – Esquema de montagem utilizado.

b) Software DNC utilizado – TNCRemoNT

TNCremoNT é um pacote de software que se destina a possibilitar a comunicação entre computadores e controladores HEIDENHAIN, onde os dados são transmitidos através de um cabo de série ou de rede. O pacote TNCremoNT inclui:

TNCremoNT

- Conveniente para transferência de dados e monitorizar funções que são operadas a partir do computador;
- visualização dos controlos no ecrã;
- visualização do ficheiro de registo do controlador;
- gestão de paletização para criação, edição e transmissão de tabelas de Paletes;
- TNCremoPlus, disponível gratuitamente, suporta a visualização remota em tempo real do ecrã do controlador [24].

TNCserver

TNCserver permite transferir dados entre computadores e controlos HEIDENHAIN através da interface série (RS_232).

O computador funciona como servidor de arquivos do usuário trabalha a partir do controlador [24].

b.1 - Passos para configuração da ligação

- Verificar se o modelo do controlador na barra de título da janela está correcta e se o protocolo e a taxa de transmissão na janela TNCserver coincidem com as configurações do controlador. Estas configurações podem ser alteradas na opção “*Configuração*”;
- Ligar o cabo de série criado (25 pinos: Id. Nr. Xx 275 545; de 9 pinos: Id. Nr. 366 964-xx) à porta RS-232 da máquina. Feito isto, o TNCserver exhibe o estado de espera para o pedido de transmissão [24].

A janela TNCserver fornece as seguintes informações (ver figura 35):

1 – Pasta (Directório) no computador onde se encontra o ficheiro.

2 – Configuração de TNCserver:

Protocolo: protocolo de comunicações

Interface: interface COM no computador

Baud rate: taxa de transmissão seleccionada (bit/segundo).

3 – Estado da conexão entre o computador e o controlador.

4 – Qualquer acção actualmente em curso (transmissão pasta; transmitir arquivos, receber arquivos, renomear arquivos, apagar arquivos; conjunto de atributos).

5 – Arquivo actualmente a ser transmitido ou em que os dados recebidos serão guardados.

6 – Progresso: Número de transmissão / caracteres recebidos.

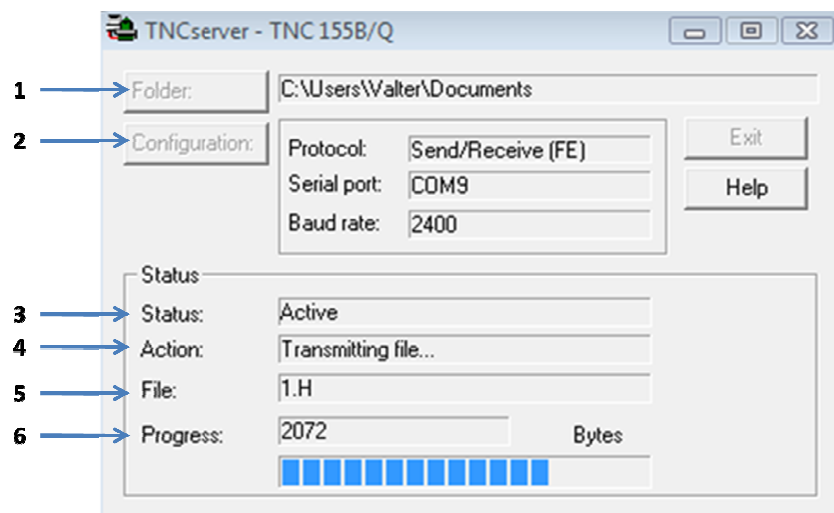


Figura 35 – Interface da janela TNCserver [23].

Caso não se verifique a ligação (ver figura 36), poderá ser devido às seguintes causas:

- o cabo não está ligado à interface correcta;
- o controlador não está ligado ou no modo de funcionamento correcto;
- o cabo de ligação é inadequado.

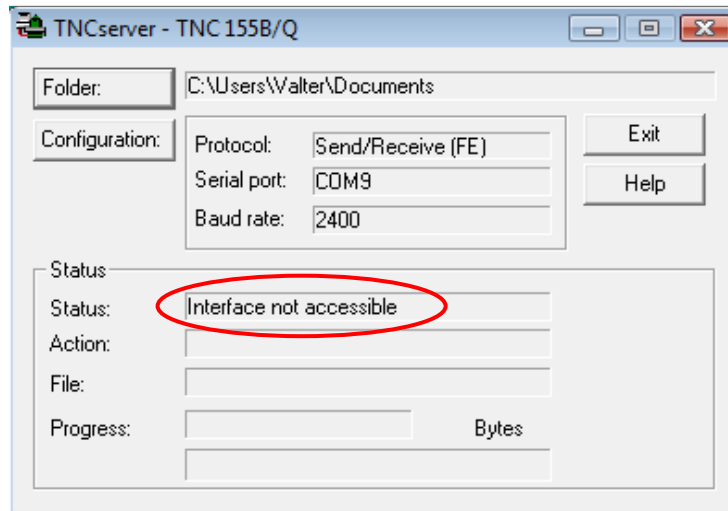


Figura 36 – Interface da janela TNCserver (sem conexão) [23].

Se, apesar de existir mensagem de espera para o pedido (ver figura 37), não for possível fazer uma transmissão, as causas possíveis serão as seguintes:

- O protocolo não é adequado para o controlador que está em serviço.
- Diferentes taxas de transmissão.

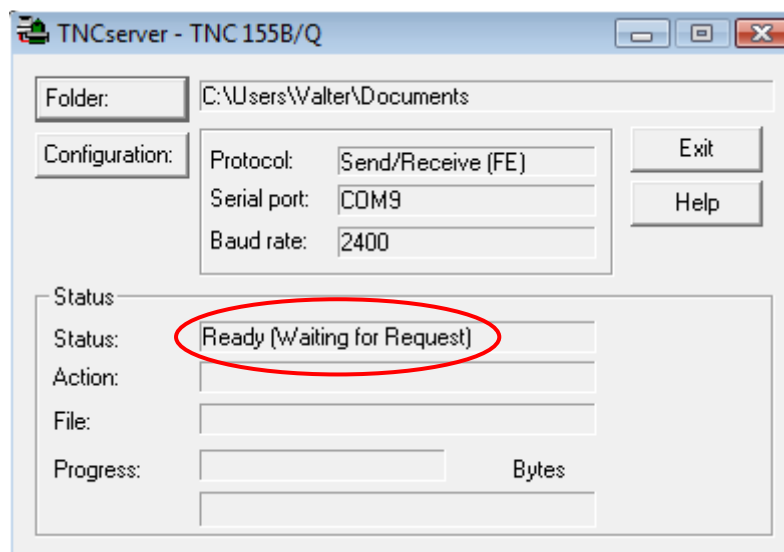


Figura 37 – Interface da janela TNCserver (à espera de pedido) [23].

TNCbackup

Características convenientes para cópias de segurança e recuperação de dados.

TNCcmd

Ferramenta de linha de comando para todas as funções de transferência.

c) Instalação das aplicações CAD/CAM

As aplicações CAD/CAM instaladas na empresa, como já foi referido, foram:

- FeatureCAM (CAD/CAM)
- PowerMILL (CAM)
- PowerSHAPE (CAD)

As intervenções a realizar numa peça desde a sua importação para a aplicação CAM até à maquinação, seguem os seguintes passos:

1. Orientação do modelo no plano de trabalho.
2. Verificação do raio mínimo da peça de forma a ver qual a fresa de menor diâmetro a usar nos percursos de maquinação.
3. Definição dos blocos de maquinação.
4. Definição das estratégias de maquinação e ferramentas de corte
5. Configuração de avanços e rotações.
6. Definição das alturas dos movimentos rápidos.
7. Simulação.
8. Criação de programas NC.
9. Pós-processamento
10. Maquinação da peça [15].

O teste inaugural da fresadora bridgeport interact 4 series 2 máquina foi realizado maquinando o logótipo da empresa num bloco de madeira – peça teste requerida pela empresa para testar o funcionamento da nova máquina.

Começou-se por gerar os percursos de maquinação em PowerMILL e FeatureCAM. Para isso, primeiro foi construído o modelo 3D com recurso ao PowerSHAPE (figura 38) de forma a poder importar o ficheiro para gerar os percursos de maquinação no PowerMILL. Quanto ao FeatureCAM, o modelo é desenhado no próprio programa na altura de definir os percursos de maquinação.

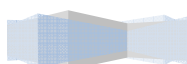




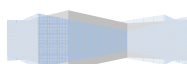
Figura 38 - Modelo 3D (modelado em PowerShape) do logótipo da empresa.

De forma a seguir os 10 passos acima enumerados, foi criada uma tabela (tabela 2) que contém as principais características do modelo 3D (dimensões, material), as ferramentas a utilizar para os percursos de maquinação e as encomendas mensais habituais para peças similares.

Tabela 2 – Características, ferramentas e encomendas da peça teste.

Dimensões	X – 130 mm Y – 70 mm Z - 20
Ferramentas Utilizadas	Fresa inteiriça de topo 25 mm Broca de 8 mm Fresa inteiriça de 6 mm
Material	Madeira
Encomendas habituais	-

O teste foi bem sucedido, uma vez que após o desenho, programação e pós-processamento (ANEXO I), foi possível maquinar a peça, usando o método maquinação bloco a bloco uma vez que o programa era demasiado pesado para ser passado totalmente para o controlador.



d) Análise da viabilidade económica da aquisição de um sistema CAD/CAM na empresa Francisco Andrade - Metalomecânica

Parte 1 – Aprendizagem da linguagem ISO da Heidenhain

A primeira parte desta componente prática consistiu na aprendizagem da linguagem ISO da Heidenhain, não só para a realização de percursos de maquinação através de programação manual, mas também para configurar os pós-processadores utilizados nas aplicações CAM. Na **tabela 3** está descrito um exemplo de um programa NC feito através de programação manual no controlador Heidenhain TNC 155.

Tabela 3 – Descrição da forma de elaboração de um programa, através de programação manual, num controlador Heidenhain TNC 155 [12].

Linha de comando NC	Descrição
0 BEGIN PGM 16 MM	Indica o começo do programa nº 16 em milímetros
1 TOOL DEF 1 L+10.000 R+4.500	Define a ferramenta 1 com 10 mm comprimento e raio de 4,5 mm
2 TOOL CALL 1 Z S 4000.000	Indica que a velocidade de rotação da ferramenta 1 é de 4000 RPM e que esta se encontra paralela ao eixo dos Z
3 L X+0.000 Y+0.000 R F2000 M03	Indica para a ferramenta se movimentar de forma linear (L) para a posição X+0.000 Y+0.000, a um avanço de 2000 mm/min (F2000). Indica também a rotação da ferramenta no sentido horário (M03).
• • •	Define-se os próximos passos do programa
60 STOP M05	Indica para a ferramenta parar a rotação
61 END PGM 16 MM	Indica para acabar o programa nº 16

Configuração dos pós-processadores utilizados

Este ponto é de suma importância, pois certifica-se de que quando são criados os programas NC, estes tenham em conta as limitações da máquina e o controlador em uso, garantindo que ao enviar um programa NC do computador para o controlador não

existam erros. Os principais pontos verificados e/ou modificados nos pós-processadores foram:

- **Cabeçalho do programa** – garantindo que o início do programa é dado por “BEGIN PGM 16 MM”, seguido de “TOOL DEF 1 L R ” e “TOOL CALL 1 Z S” e o fim do programa é dado por “STOP M05” seguido de “END PGM 16 MM”.
- **Velocidades máximas** – garantindo que a velocidade de rotação máxima é de 4000 RPM e o avanço máximo é de 5000 mm/min (capacidades máximas da máquina).
- **Contagem de blocos** – garantindo que a primeira linha de código (bloco) começa em zero e tem um incremento de um (de forma à segunda linha ser a número 1 e assim sucessivamente).
- **Exportação e armazenamento dos ficheiros NC** – de forma a que quando se guarda um programa NC, o pós-processador o guarde com a extensão “.H” (extensão suportada pelo controlador).
- **Definição de subrotinas** – Garantindo que a subrotina é definida antes de ser chamada.

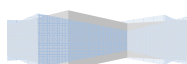
Parte 2 – Estudo de peças habitualmente fabricadas na empresa

Neste ponto pretendeu-se fazer uma análise de peças que normalmente são fabricadas na empresa, e esta análise consistiu em comparar os tempos gastos através dos diferentes métodos de maquinação, ou seja:

- utilizando o FeatureCAM;
- utilizando o PowerShape/PowerMILL;
- gerando percursos através de programação manual;
- com recurso à maquinação convencional.

Baseado nestes tempos realizou-se um estudo de viabilidade económica, tendo em conta os seguintes parâmetros:

- custo hora/máquina para a empresa;
- custo das diferentes aplicações CAD/CAM e respectivos tempos de amortização;



- dimensão das séries de peças encomendadas.

Tendo em conta que o tempo de amortização das diferentes aplicações é de quatro anos, foram criados dois cenários possíveis:

Cenário 1

A empresa ter a encomenda de uma mesma peça durante quatro anos, com uma série mensal fixa.

Com este cenário é possível fazer uma avaliação para encomendas de grandes séries de peças.

Cenário 2

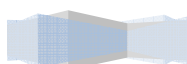
Realizar uma encomenda por mês de uma peça similar à analisada, sendo necessário realizar um programa NC por mês durante quatro anos.

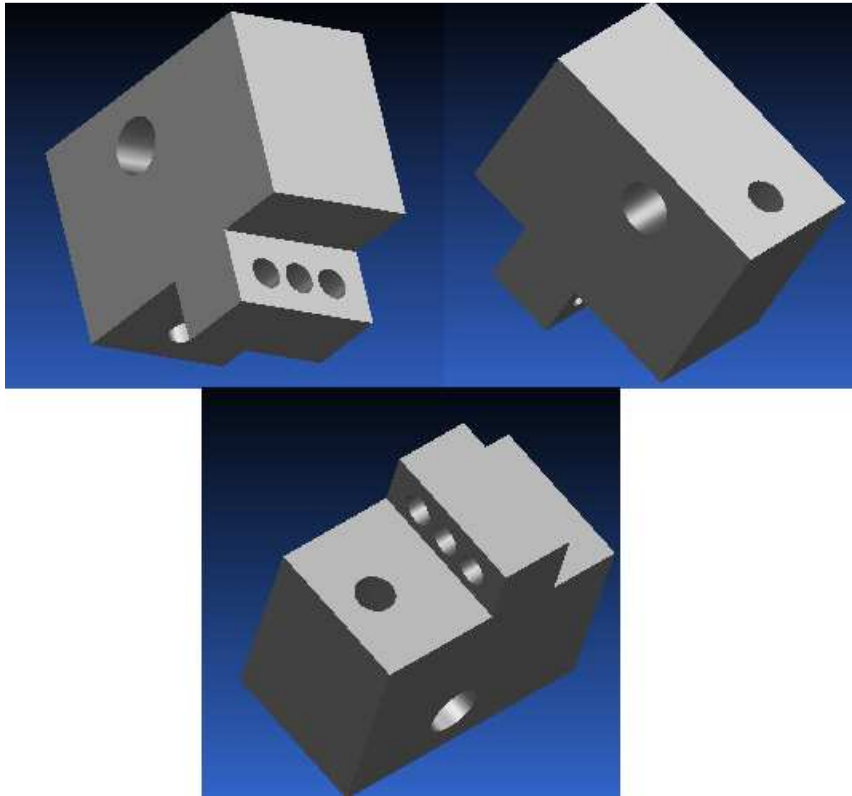
Com este cenário é possível fazer uma avaliação para encomendas de pequenas séries de peças.

Análise das peças

Para a análise de cada uma das diferentes peças foram seguidos os seguintes passos:

1. Criação do modelo 3D;
2. Construção de uma tabela com dimensões máximas da peça em estudo, com as ferramentas utilizadas na maquinação, com o material e as encomendas mensais habituais;
3. Construção de uma tabela com os tempos das diferentes operações nos diferentes métodos de maquinação (para uma peça)
4. Construção de um gráfico custos (€) Vs nº de peças(encomendas mensais habituais)
5. Análise do gráfico referido no ponto 4
6. Análise dos dois cenários criados



Peça 1**Figura 39** - Modelo 3D da peça 1 (modelado em PowerSHAPE)**Tabela 4** – Características, ferramentas e encomendas da peça 1.

Dimensões	Comprimento (X) – 71 mm Largura (Y) – 40 mm Altura (Z) – 65 mm
Ferramentas Utilizadas	Fresa inteiraça de topo 25 mm Broca de 14 mm Broca de 10 mm Broca de 8 mm
Material	Alumínio
Encomendas habituais	25 Unidades

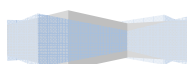


Tabela 5 – Tempos das diferentes operações nos diferentes métodos de maquinação (para uma peça)

Operação	FeatureCAM	PowerMILL	Programação Manual	Maquinação Convencional
Desenho	20 min.	12 min.	-	-
Programação		15 min.	45 min.	-
Maquinar	6 min.	7 min.	6 min.	15 min.
Total	26 min.	34 min.	51 min.	15 min.

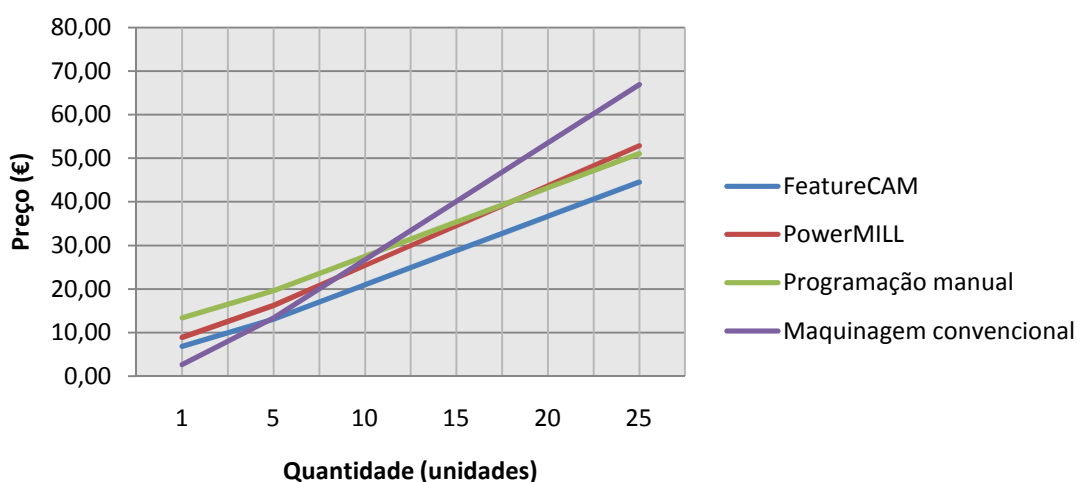


Figura 40 – Gráfico Preço Vs Quantidade para peça 1.

Após análise do gráfico da figura 40 e dos dados presentes no anexo II, verifica-se que a ferramenta CAM mais adequada para esta encomenda mensal é o FeatureCAM, ficando cerca de 8,37 € mais económica para a empresa que o PowerMILL. Comparando com os restantes métodos, verifica-se que o FeatureCAM também leva vantagem sobre a programação manual em cerca de 6,54€, e sobre a maquinação convencional de 22,39€.

Cenário 1 – Fazer a mesma peça durante 4 anos

Ao extrapolar o resultado para 1200 unidades (4 anos), verifica-se que o ganho do FeatureCAM para o PowerMILL é de aproximadamente 315,80 €, para a

programação manual é de apenas 18,30€ e para a maquinação convencional é de 1320,80 €. Esta extrapolação pode ser verificada com a figura 2 e tabela 2 do anexo II.

Cenário 2 – Fazer 25 peças mensais similares a esta durante 4 anos

Ao analisar o ganho do fabrico de 25 peças similares a esta mensalmente, sendo necessário fazer um programa por mês, a vantagem do FeatureCAM em relação à programação manual passa a ser de 312€ ($6.5 \text{ €} \times 48(\text{meses}) = 312 \text{ €}$) ao fim de 4 anos.

Peça 2

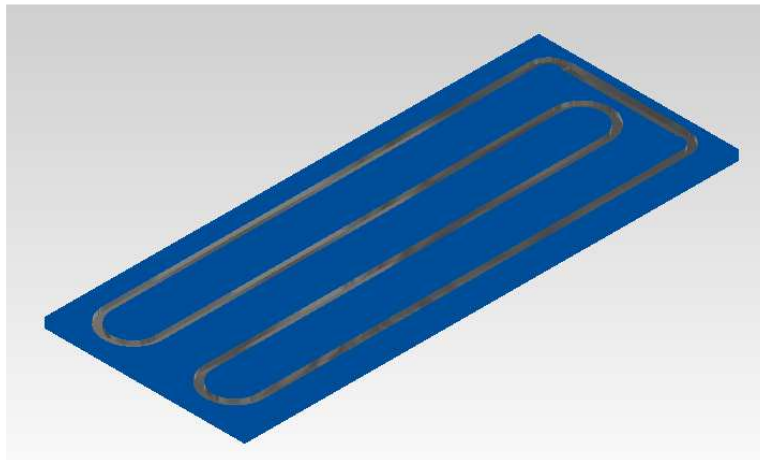


Figura 41 – Modelo 3D da peça 2 (após simulação no FeatureCAM)

Tabela 6 – Características, ferramentas e encomendas da peça 2.

Dimensões	Comprimento (X) – 200 mm Largura (Y) – 250 mm Altura (Z) – 20 mm
Ferramentas Utilizadas	Fresa inteira de topo 8 mm
Material	Alumínio
Encomendas habituais	10 Unidades

Tabela 7 – Tempos das diferentes operações nos diferentes métodos de maquinação (para uma peça)

Tempos	FeatureCAM	PowerMILL	Programação Manual	Maquinação Convencional
Desenho		15 min		-
Programação	17 min.	7 min.	40 min.	-
Maquinar	25 min.	27 min.	22 min.	50 min.
Total	42 min.	49 min.	62 min.	50 min.

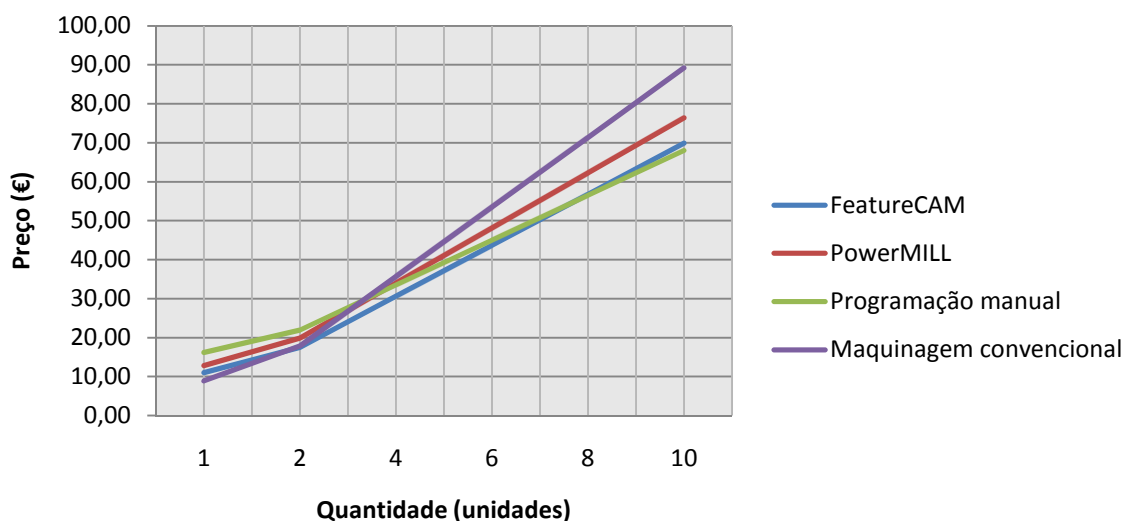


Figura 42 - Gráfico Preço Vs Quantidade para peça 2.

Após análise do gráfico da figura 42 e da tabela 1 e figura 1 do anexo III, verificou-se que para as encomendas mensais habituais desta peça (10 unidades) a aplicação mais em conta para a empresa é o FeatureCAM ficando cerca de 6,54 euros mais barato que o PowerMILL para 10 unidades. Comparando com os restantes métodos, verifica-se que apesar de que, para a execução de uma só peça a execução da maquinação com programação manual ficar mais dispendiosa do que com ambas as aplicações CAM, ao avançarmos para as dez unidades já é o método mais indicado, sendo a diferença para o FeatureCAM de aproximadamente 1,83 €.

Cenário 1 – Fazer a mesma peça durante 4 anos

Se extrapolarmos os resultados para 480 unidades (respectivas a 4 anos), figura 42, verifica-se que esta diferença é de aproximadamente 370,78 €. Ou seja, nesta peça, o método de programação mais indicado é o de programação manual. A maquinaria convencional, nestes casos está completamente fora de questão. Esta extrapolação pode ser verificada com a figura 2 e tabela 2 do anexo III.

Cenário 2 – Fazer 25 peças mensais similares a esta durante 4 anos

Ao analisar o ganho do fabrico de 10 peças similares a esta mensalmente, sendo necessário fazer um programa por mês, a vantagem da programação manual apenas passa a ser de aproximadamente 88 € ($1,83 \text{ €} \times 48 \text{ (meses)} = 87,84 \text{ €}$) ao fim de 4 anos.

Peça 3

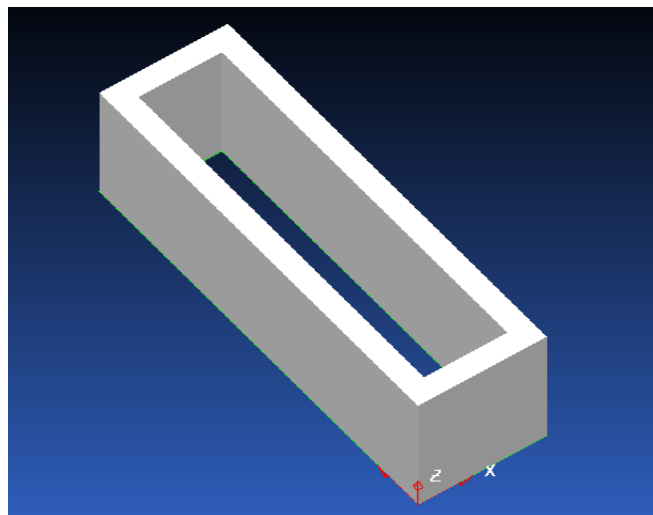


Figura 43 - Modelo 3D da peça 3 (modelado em PowerSHAPE)

Tabela 8 – Características, ferramentas e encomendas da peça 3.

Dimensões	Comprimento (X) – 17 mm
	Largura (Y) – 57 mm
	Altura (Z) – 30 mm
Ferramentas Utilizadas	Fresa inteira de topo 5 mm
Material	Nyial
Encomendas habituais	60 Unidades

Tabela 9 – Tempos das diferentes operações nos diferentes métodos de maquinação (para uma peça)

Tempos	FeatureCAM	PowerMILL	Programação Manual	Maquinação Convencional
Desenho	7 min.	5 min		-
Programação		7 min.	30 min.	-
Maquinar	2:30 min.	2:30 min.	2:30 min.	15 min.
Total	9:30 min.	14:30 min.	32:30 min.	15 min.

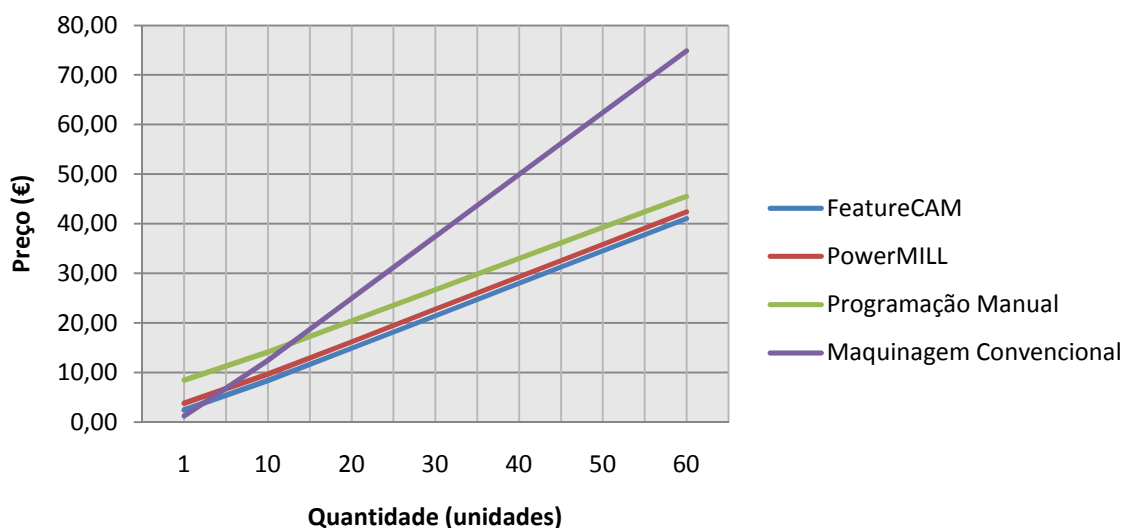


Figura 44 - Gráfico Preço Vs Quantidade para peça 3.

Após análise do gráfico da figura 44 e da tabela 1 e figura 1 do anexo IV, verificou-se que para as encomendas mensais habituais desta peça (60 unidades) a aplicação mais em conta para a empresa é o FeatureCAM ficando cerca de 1 € mais barato que o PowerMILL para 60 unidades. Comparando o FeatureCAM com os restantes métodos, verifica-se que para a execução de poucas peças (1 – 4) o método mais rentável é o da maquinação convencional, altura em que as duas linhas se cruzam, e para uma encomenda desta dimensão a programação manual é sempre menos rentável que o FeatureCAM (cerca de 4,45€ em sessenta peças) e só passa a ser mais rentável do que a maquinação convencional a partir da 12ª peça.

Cenário 1 – Fazer a mesma peça durante 4 anos

Se extrapolarmos os resultados para 2880 unidades (respectivas a 4 anos), e comparando apenas o FeatureCAM com a programação manual, verifica-se que ao fim de quatro anos, devido à maquinação com programação manual ser mais rápida 10 segundos por peça, a programação manual leva uma vantagem de cerca de 69,34 €. Esta extrapolação pode ser verificada com a figura 2 e tabela 2 do anexo IV.

Cenário 2 – Fazer 25 peças mensais similares a esta durante 4 anos

Ao analisar o ganho do fabrico de 60 peças similares a esta mensalmente, sendo necessário fazer um programa por mês, a vantagem do FeatureCAM já é cerca de 216 € (4,5€ x 48 meses).

Parte 3 – Estudo de peças encomendadas após a instalação das ferramentas CAD/CAM na empresa

Neste terceiro momento de componente prática, o estudo incidiu apenas sobre os tempos de maquinação. Uma vez que a empresa não executava as peças abaixo analisadas antes da implementação das ferramentas CAD/CAM não é possível estabelecer uma comparação de dados económicos adquiridos com dados anteriores.

Peça 4

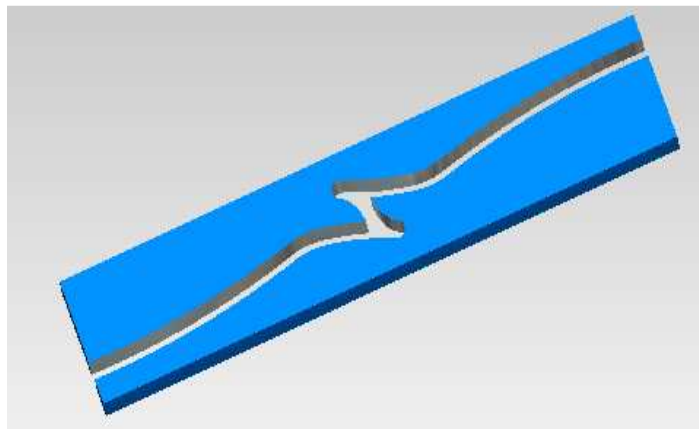


Figura 45 - Modelo 3D da peça 4 (após simulação no FeatureCAM)

Tabela 10 – Características, ferramentas e encomendas da peça 4.

Dimensões	Comprimento (X) – 150 mm Largura (Y) – 30 mm Altura (Z) – 8 mm
Ferramentas Utilizadas	Fresa inteira de topo 4 mm
Material	Cobre
Encomendas habituais	30 Unidades (setup realiza duas peças em cada aperto)

Tabela 11 – Tempos das diferentes operações nos diferentes métodos de maquinação (para uma peça)

Tempos	FeatureCAM
Desenho Programação	50 min.
Maquinar	8 min. (para 2 peças)
Total	58 min.

Esta peça faz parte de um serviço requerido à secção de decoração da empresa, após a existência das aplicações CAM. Trata-se de um protótipo para apoios de candeeiro, que não foi exequível via programação manual, uma vez que as medidas foram definidas durante a criação do modelo no FeatureCAM. A encomenda foi de 30 unidades (para 5 candeeiros, com 6 apoios cada um). Com esta encomenda foram garantidas 2 horas de trabalho de maquinação, sendo que, caso o protótipo seja aceite, e a empresa adquira a licença, estará garantida uma cadência de trabalho de 120 peças mensais (20 candeeiros) durante 6 meses (720 peças), garantirá cerca de 8 horas de maquinação mensais.

Se forem requeridos serviços de peças similares durante 4 anos, ou seja, uma peça de seis em seis meses, a empresa garantirá cerca de 384 horas neste período (48 dias de trabalho na empresa).

Peça 5

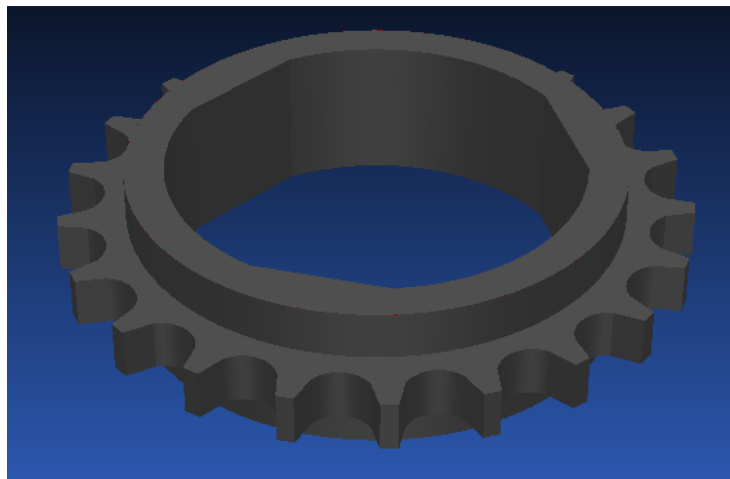


Figura 46 - Modelo 3D da peça 5 (modelado em PowerSHAPE)

Tabela 12 – Características, ferramentas e encomendas da peça 5.

Dimensões	Comprimento (X) – 56 mm
	Largura (Y) – 53 mm
	Altura (Z) – 13 mm
Ferramentas Utilizadas	Fresa inteiriça de topo 6 mm
Material	Aço
Encomendas habituais	1 Unidade

Tabela 13 – Tempos das diferentes operações nos diferentes métodos de maquinação (para uma peça)

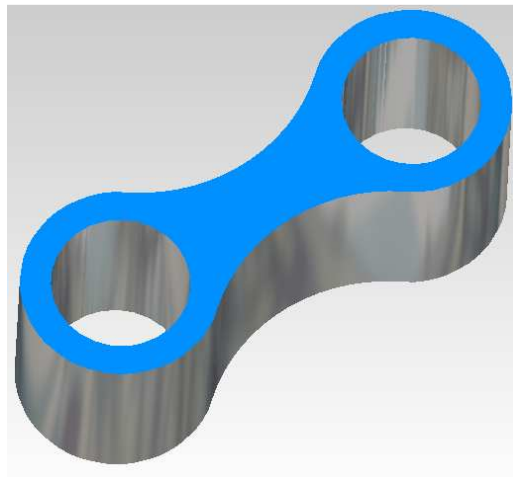
Tempos	FeatureCAM
Desenho	50 min.
Programação	
Maquinar	110 min.
Total	160 min.

Neste caso, a peça destinava-se a ser aplicada numa cambota de motor de automóvel, não exequível por programação manual devido à encomenda ter sido de apenas uma unidade, e devido aos “dentes” (21 dentes) que rodeiam a peça que só para programar manualmente seriam necessários inúmeros cálculos de trigonometria e devido a ser uma peça de extrema responsabilidade onde não poderia haver uma grande margem de erro. Este serviço garantiu à empresa cerca de 2,67 horas de trabalho (programação + fresadora), sendo que depois ainda foi levado ao torno mecânico de forma a desbastar o lado oposto ao maquinado na fresadora CNC.



Figura 47 – peça depois de aplicada na cambota

Se forem requeridos serviços de peças similares durante 4 anos, ou seja, uma peça similar a esta todos os meses, a empresa garantirá cerca de 128 horas (cerca de 16 dias) de trabalho de fresadora CNC neste período.

Peça 6**Figura 48** - Modelo 3D da peça 5 (após simulação no FeatureCAM)**Tabela 14** – Características, ferramentas e encomendas da peça 6.

Dimensões	Comprimento (X) – 98 mm
	Largura (Y) – 34 mm
	Altura (Z) – 37 mm
Ferramentas Utilizadas	Fresa inteiriça de topo 25 mm Fresa inteiriça de topo 11 mm
Material	Alumínio
Encomendas habituais	2 Unidades

Tabela 15 – Tempos das diferentes operações nos diferentes métodos de maquinação (para uma peça)

Tempos	FeatureCAM
Desenho	15 min.
Programação	
Maquinar	40 min.
Total	55 min.

Estas peças foram requeridas para serem aplicadas numa suspensão de uma mota. Devido à encomenda ser de poucas unidades (2) e devido à complexidade de fazer o programa NC de forma manual (apesar da geometria ser simples) apenas foi feito o estudo para a peça realizada tendo como suporte o FeatureCAM.

Com este trabalho a empresa garantiu cerca de 1,57 horas de trabalho de maquinação.

Se forem requeridos serviços de peças similares durante 4 anos, ou seja, uma peça similar a esta todos os meses, a empresa garantirá cerca de 75,4 horas (cerca de 9 dias e meio) de trabalho de fresadora CNC neste período.

Parte 4 – Discussão dos dados adquiridos

Após esta análise feita peça a peça, verifica-se que todas as peças analisadas tinham geometrias simples, mesmo aquelas que foram encomendadas após a aquisição das aplicações CAD/CAM.

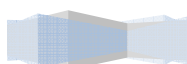
Tendo em conta as peças habitualmente feitas pela empresa a ferramenta CAM mais indicada é o FeatureCAM, tendo-se revelado menos dispendiosa comparativamente ao PowerMILL.

Quanto aos dois cenários que foram criados, constaram-se as diferentes situações: para grandes séries (**cenário 1**), seria compensatório à empresa programar manualmente, uma vez que a vantagem do FeatureCAM em 4 anos não é significativa, devido às geometrias simples das peças maquinadas na empresa; para pequenas séries (**cenário 2**), revelou-se compensador trabalhar com o FeatureCAM, tendo uma vantagem significativa relativamente à programação manual, sendo que na única peça analisada em que compensa a programação manual (peça2), a diferença é praticamente desprezável (88 euros em 4 anos).

A aquisição de uma aplicação CAM na empresa pode trazer vantagens, uma vez que permitirá à empresa produzir peças que teriam de ser descartadas, tais como as peças 4, 5 e 6. Pode ainda revelar-se uma mais-valia na medida em que promoverá a oferta de preços mais competitivos para pequenas séries, podendo aumentar bastante o volume de encomendas.

Parte 5 – Elaboração da estrutura do sítio de internet

Face à implementação deste novo sistema CAD/CAM no seio da empresa *Francisco Andrade – Metalomecânica*, revelou-se pertinente a sua promoção e



divulgação a um novo potencial público, bem como à antiga carteira de clientes para que estes tomem conhecimento das novas faculdades da empresa. Para isso, e recorrendo a um dos suportes mediáticos mais em voga na actualidade, surgiu a necessidade de criar um sítio on-line dedicado à difusão dos serviços e produtos desta empresa.

A proposta foi apresentada à pessoa responsável sob a forma de um esquema (figura 49) onde era exibida a composição do site quer a nível de disposição de conteúdos, quer a nível estrutural das navegações principal e secundária. Após discutida e afinada, a proposta foi entregue a um Web-designer com as competências de lhe atribuir uma forma gráfica e facilitar a gestão de conteúdos, para um colaborador apenas com conhecimentos da óptica do utilizador, após a sua colocação on-line.

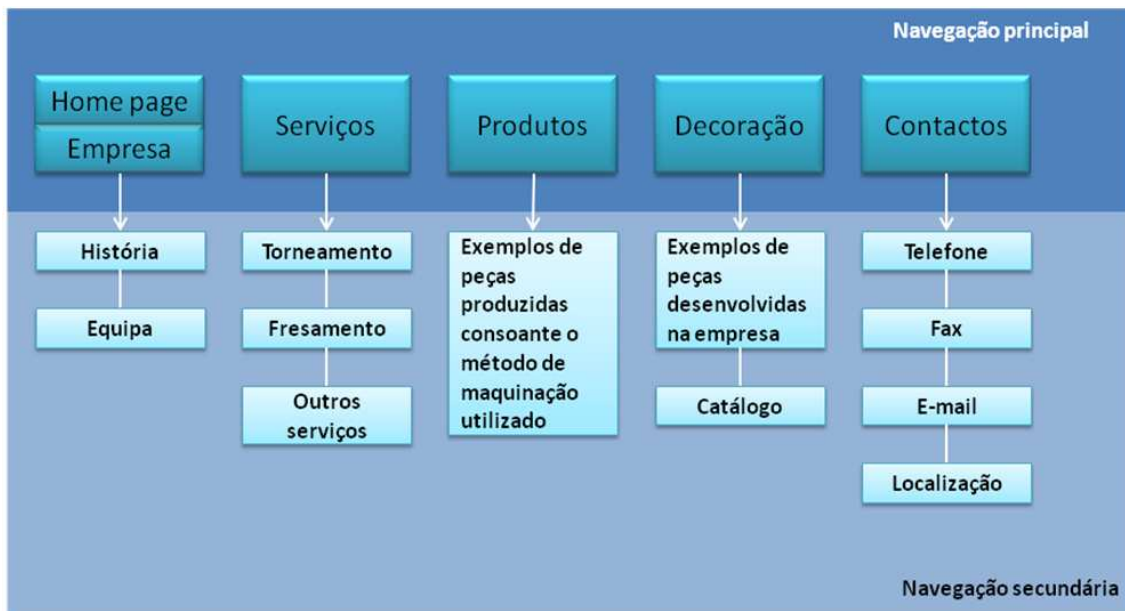


Figura 49 – Esquema do site apresentado aos responsáveis da empresa.

Ao dar entrada em www.franciscoandrademetalomecanica.pt, após uma breve introdução, o utilizador encontra-se naquela que será por defeito a “home page” do site intitulada “Empresa”, e que corresponde simultaneamente a um dos tópicos de navegação principal. São também parte desta navegação os tópicos “Serviços”, “Produtos”, “Decoração” e “Contactos” que estarão sempre visíveis e acessíveis na área lateral direita da janela do browser, ao longo de todo o possível percurso de navegação do utilizador.

Já no que respeita à navegação secundária, esta corresponde ao acesso a títulos secundários no interior dos tópicos principais, e que estarão apenas disponíveis quando o utilizador se encontra dentro do “tópico mãe” correspondente.

Atente-se na distribuição de assuntos sob o espectro das navegações principal e secundária:

“**Empresa**” - secção que disponibiliza uma visão genérica da empresa *Francisco Andrade – Metalomecânica* composta pelas sub-secções:

“História” – componente histórica que descreve o percurso da empresa até à sua estrutura actual.

“Equipa” – inventário dos colaboradores com respectiva descrição das funções desempenhadas.

“**Serviços**” – secção de amostragem das competências funcionais da empresa determinadamente:

“Torneamento” – breve descrição de torneamento e competências da empresa nesta secção.

“Fresamento” – breve descrição de fresamento e competências da empresa nesta secção.

“Outros serviços” – enumeração de todos os serviços realizados na empresa (soldadura, rectificação, quinagem, etc.)

“Equipamento” – paleta de máquinas que a empresa possui para a realização dos seus serviços acompanhadas da respectiva descrição técnica.

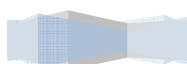
“**Produtos**” – área destinada à exibição dos artefactos que a empresa tem capacidade de produzir.

“Exemplos de peças produzidas na Empresa” – amostra de alguns exemplos de caso de objectos produzidos por encomenda.

“**Decoração**” – norteada para a promoção de objectos originais desenvolvidos na empresa.

“**Contactos**” – secção que promove o contacto entre o utilizador e a empresa, viabilizando o acesso a:

“Telefone”



“Fax”

“E-mail”

“Localização”

7. Conclusões

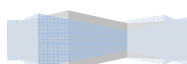
Esta tese de mestrado consolidou os conhecimentos adquiridos durante o Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais sobre as ferramentas usadas no mundo empresarial, em particular no campo da maquinação. Para a realização da mesma foi possível realizar um estágio que permitiu contactar directamente com a realidade de uma empresa e com as técnicas utilizadas nesta, mais propriamente com a maquinação convencional.

Para a implementação de uma máquina CNC com um sistema CAD/CAM revelou-se necessário ultrapassar os seguintes obstáculos:

- a. Conhecer o controlador da máquina (ciclos permitidos, linguagem utilizada, taxa de transmissão de dados, etc.) e a máquina em estudo (velocidades máximas, cursos máximos, funções da máquina);
- b. Dominar as aplicações instaladas;
- c. Criar cabo de ligação computador – controlador;
- d. Escolher e configurar os pós-processadores mais indicados;
- e. Escolher o software DNC mais indicado.

Após a resolução destes problemas a instalação da máquina e aplicações foram conseguidas com sucesso, na medida em que foi possível maquinar peças após programação com aplicações CAM, tornando possível o estudo de viabilidade económica que possa servir de suporte à empresa na decisão de adquirir, ou não, uma licença deste tipo de aplicações; note-se que este fora um dos objectivos propostos desde início.

O estudo conclui ainda que a máquina adquirida é uma mais-valia para a empresa, uma vez que veio melhorar não só a qualidade dos serviços (sendo muito mais precisa do que as fresadoras convencionais utilizadas até então) mas também a sua eficácia, uma vez que a sua aquisição tornou possível oferecer uma resposta mais



imediate a encomendas que, com a maquinação convencional sofreriam um processo mais moroso.

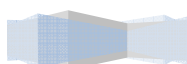
Com a posse das licenças verificou-se que, para as peças actualmente realizadas na empresa, e para as séries praticadas (pequenas séries), a realização das peças tornou-se, em geral, mais rápida, permitindo ainda à empresa a realização de serviços que até então teriam de ser descartados devido à falta de meios. Para grandes séries, e para peças executáveis por programação manual, esta vantagem não é tão acentuada, sendo por vezes até menos compensador fazer a peça com recurso a aplicação CAM, uma vez que, para peças com geometrias simples o tempo de maquinação por peça é muito parecido, tanto para a maquinação gerada com a aplicação CAM, como para a criada por programação manual.

Atende-se que a programação manual está muito mais sujeita a erros que a programação auxiliada por computador, sendo que nesta última todos os cálculos de trajetórias são feitos automaticamente e, se existirem erros (facadas, colisões, etc.), estes podem ser facilmente colmatados, uma vez que as aplicações em estudo possuem a componente de simulação que evita males maiores.

Quando se comparam as 2 aplicações CAM, verifica-se que o FeatureCAM é mais indicado para a realização de peças de geometria simples que o PowerMILL, uma vez que é muito mais simples e intuitivo, permitindo desenhar o que se pretende maquinar no próprio software, ao contrário do PowerMILL que implica o recurso a uma aplicação CAD (como é exemplo o PowerSHAPE). O PowerMILL insurge-se como um software mais completo, mas, no entanto, mais indicado para peças de geometrias mais complexas, como as utilizadas na indústria de moldes.

Este estudo permitiu à empresa onde foi realizado o estágio visualizar uma nova realidade de mercado que ostenta soluções para um futuro mais competitivo no campo do fresamento, no entanto devido à empresa não ser uma empresa especializada em fresamento, a aquisição de uma licença CAM terá de ter em conta que só será compensatório fazer um investimento deste calibre se estiver garantida uma cadência de trabalho mínima necessária.

Por fim, com o intuito de responder a todos os objectivos propostos, foi criada a estrutura e respectiva plataforma on-line para a divulgação dos serviços da empresa



Francisco Andrade – Metalomecânica, conforme aprovação pelos responsáveis da empresa.

8. Sugestões

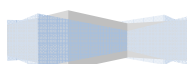
Para trabalhos futuros, no seguimento do trabalho que foi realizado durante o estágio será importante complementar o estudo de viabilidade económica com outros dados particulares da empresa. Ou seja, mesmo nas peças em que a programação manual compensa em relação à programação auxiliada por computador, a empresa deverá verificar a mais-valia do facto de a aplicação CAM possuir a componente de simulação dos percursos de maquinação, permitindo evitar qualquer erro de trajectória, relativamente aos erros que eventualmente poderão ocorrer com a programação manual.

Durante o estágio e após a análise dos resultados práticos, surgiu a ideia da criação de uma nova empresa ligada a esta, mas especializada em maquinação CNC, já que existe uma carteira de clientes para este tipo de serviço.

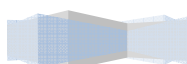
Será importante a divulgação das novas possibilidades de trabalho da empresa para a expansão da carteira de clientes, e para tal a realização a curto prazo do sítio da internet poderá revelar-se de extrema importância.

9. Bibliografia

- [1] – Custom part, <http://www.custompartnet.com>, acedido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [2] – CIMM – Material didáctico, <http://www.cimm.com.br>, acedido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [3] – Marcos Borges, <http://mmborges.com>, acedido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [4] – Efunda, <http://www.efunda.com>, acedido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [5] – Spindles World, <http://www.spindlesworld.com>, acedido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [6] – Dormertools, www.dormertools.com, acedido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [7] – Davim J, 2008, *Princípios de Maquinagem*, Publindústria.



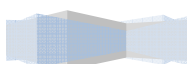
- [8] – Relvas C., 2002, *Controlo Numérico Computorizado*, Publindústria
- [9] – Paese distribuidora, <http://www.paesedistribuidora.com.br>, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [10] – Direct Industry, <http://www.directindustry.de>, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [11] - Esteves A., Davim J., 2006, *Maquinagem alta velocidade*, Publindústria, p. 69 – 82, 131 – 173.
- [12] – Manual do controlador Heidenhain TNC 155.
- [13] - Maurício J., 2009, *A programação de máquinas ferramenta com comando numérico*, Cenfim, p. 1 – 5.
- [14] - CNC Concepts, Inc, <http://www.cncci.com>, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [15] - Martins-Augusto V., 2009, *Apontamentos da cadeira de Engenharia Assistida por Computador*.
- [16] - Moldmaking technology, <http://www.moldmakingtechnology.com>, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [17] - Apro K., 2008, *Secrets of 5-axis machining*, Industrial Press Inc., New York.
- [18] - Mundo CNC, www.mundocnc.com.br, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [19] – Norcam, www.norcam.pt, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [20] – Delcam, www.powershape.com, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [21] - Delcam, Formação PowerShape – *Curso Avançado*.
- [22] - Delcam, www.powermill.com, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [23] - Delcam, <http://www.featurecam.com/>, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.
- [24] - Delcam, Programa FeatureCAM 2010.
- [25] - Delcam, Programa PowerMILL 10.
- [26] – CNC Machine tool help, <http://www.machinetoolhelp.com/>, acessido pela última vez a 28 de Junho de 2010.



ANEXO

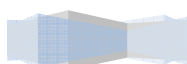
I

Código NC gerado para maquinar o logótipo da empresa

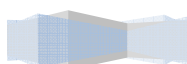


Código NC gerado pelo FeatureCAM para maquinar o logótipo da empresa

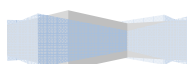
```
0 BEGIN PGM 100 MM
1 L X0. Y0. R0 F3999 M25
2 STOP M
3 TOOL DEF 1 L0 R5.5
4 TOOL CALL 1 Z S3000
5 L X10.0 Y-10.0 R0 F M3
6 L R F M8
7 L Z3.0 R FMAX M
8 CYCL DEF 1.0 PECKING
9 CYCL DEF 1.1 SET UP -3.0
10 CYCL DEF 1.2 DEPTH -29.405
11 CYCL DEF 1.3 PECKG -11.0
12 CYCL DEF 1.4 DWELL 0.
13 CYCL DEF 1.5 F400
14 CYCL CALL M
15 L Z25.0 R FMAX M
16 L X180.0 R F M
17 L Z3.0 R FMAX M
18 CYCL DEF 1.0 PECKING
19 CYCL DEF 1.1 SET UP -3.0
20 CYCL DEF 1.2 DEPTH -29.405
21 CYCL DEF 1.3 PECKG -11.0
22 CYCL DEF 1.4 DWELL 0.
23 CYCL DEF 1.5 F400
24 CYCL CALL M
25 L Z25.0 R FMAX M
26 L Y-100.0 R F M
27 L Z3.0 R FMAX M
28 CYCL DEF 1.0 PECKING
29 CYCL DEF 1.1 SET UP -3.0
30 CYCL DEF 1.2 DEPTH -29.405
31 CYCL DEF 1.3 PECKG -11.0
32 CYCL DEF 1.4 DWELL 0.
33 CYCL DEF 1.5 F400
34 CYCL CALL M
35 L Z25.0 R FMAX M
36 L X10.0 R F M
37 L Z3.0 R FMAX M
38 CYCL DEF 1.0 PECKING
39 CYCL DEF 1.1 SET UP -3.0
40 CYCL DEF 1.2 DEPTH -29.405
41 CYCL DEF 1.3 PECKG -11.0
42 CYCL DEF 1.4 DWELL 0.
43 CYCL DEF 1.5 F400
44 CYCL CALL M
45 L Z25.0 R FMAX M
46 L X0. Y0. R0 F M25
47 STOP M
48 TOOL DEF 2 L0 R12.5
49 TOOL CALL 2 Z S3000
50 L X-22.223 Y-13.994 R0 F3999 M3
51 L R F M8
52 L Z2.0 R FMAX M
53 L Z-14.0 R F2500 M
```



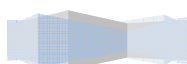
54 L X-12.5 Y-4.271 R F500 M
55 L X-11.573 Y-0.813 R F500 M
56 CC X41.432 Y-15.016
57 C X-7.354 Y10.108 DR- R F500 M
58 L X-8.015 Y23.842 R M
59 L X5.378 Y26.169 R F500 M
60 L X3.885 Y12.5 R F500 M
61 CC X41.432 Y-15.016
62 C X-3.532 Y-2.968 DR+ R F500 M
63 L X-12.5 Y-36.436 R M
64 L X-22.223 Y-46.159 R F500 M
65 L Y-78.324 R F500 M
66 L X-12.5 Y-68.602 R F500 M
67 L X4.509 Y-5.122 R F500 M
68 CC X41.432 Y-15.016
69 C X14.898 Y12.5 DR- R F500 M
70 L X18.697 Y25.715 R M
71 L X37.999 Y23.487 R F500 M
72 L X29.731 Y12.5 R F500 M
73 CC X41.432 Y-15.016
74 C X12.551 Y-7.277 DR+ R F500 M
75 L X-8.881 Y-87.261 R M
76 CC X20.0 Y-95.0
77 C X8.263 Y-122.5 DR+ R F500 M
78 L X16.516 Y-133.498 R M
79 L X87.001 Y-133.487 R F500 M
80 L X95.269 Y-122.5 R F500 M
81 CC X83.568 Y-94.984
82 C X101.057 Y-119.236 DR+ R F500 M
83 CC X118.565 Y-94.999
84 C X106.831 Y-122.5 DR+ R M
85 L X115.085 Y-133.497 R M
86 L X191.07 Y-136.204 R F500 M
87 L X191.076 Y-122.454 R F500 M
88 CC X143.565 Y-94.995
89 C X196.571 Y-109.198 DR+ R F500 M
90 L X202.5 Y-87.069 R M
91 L X212.223 Y-77.346 R F500 M
92 L X212.762 Y-45.458 R F500 M
93 L X202.5 Y-54.61 R F500 M
94 CC X158.297 Y-40.016
95 C X201.254 Y-57.948 DR- R F500 M
96 CC X155.086 Y-52.0
97 C X200.05 Y-64.048 DR- R M
98 L X188.529 Y-107.043 R M
99 CC X143.565 Y-94.995
100 C X181.121 Y-122.5 DR- R F500 M
101 L X179.631 Y-136.169 R M
102 L X166.316 Y-135.716 R F500 M
103 L X170.11 Y-122.5 R F500 M
104 CC X143.565 Y-94.995
105 C X180.488 Y-104.889 DR+ R F500 M
106 L X192.008 Y-61.893 R M
107 CC X155.086 Y-52.0
108 C X193.125 Y-55.77 DR+ R F500 M
109 CC X158.297 Y-40.016



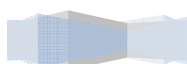
110 C X195.22 Y-49.909 DR+ R M
111 L X201.923 Y-24.893 R M
112 CC X165.0 Y-15.0
113 C X202.5 Y-22.409 DR+ R F500 M
114 L X211.553 Y-12.06 R M
115 L Y-17.94 R F500 M
116 L X202.5 Y-7.591 R F500 M
117 CC X165.0 Y-15.0
118 C X191.665 Y12.389 DR+ R F500 M
119 L X187.929 Y25.621 R M
120 L X168.484 Y23.498 R F500 M
121 L X176.737 Y12.5 R F500 M
122 CC X165.0 Y-15.0
123 C X193.881 Y-22.739 DR- R F500 M
124 L X187.178 Y-47.754 R M
125 CC X158.297 Y-40.016
126 C X184.944 Y-53.578 DR- R F500 M
127 CC X155.086 Y-52.0
128 C X183.967 Y-59.739 DR- R M
129 L X172.447 Y-102.734 R M
130 CC X143.565 Y-94.995
131 C X155.291 Y-122.5 DR- R F500 M
132 L X147.034 Y-133.494 R M
133 CC X129.954 Y-133.652
134 C X129.952 Y-116.572 DR+ R F500 M
135 L X118.568 Y-116.574 R M
136 CC X118.565 Y-94.999
137 C X101.062 Y-107.612 DR- R F500 M
138 CC X83.568 Y-94.984
139 C X83.568 Y-116.559 DR- R M
140 L X58.568 R M
141 CC X58.568 Y-94.984
142 C X51.808 Y-115.473 DR- R F500 M
143 CC X45.0 Y-95.0
144 C X45.0 Y-116.575 DR- R M
145 L X20.0 R M
146 CC X20.0 Y-95.0
147 C X-0.84 Y-89.416 DR- R F500 M
148 L X20.592 Y-9.432 R M
149 CC X41.432 Y-15.016
150 C X41.432 Y6.559 DR- R F500 M
151 L X66.432 R M
152 CC X66.432 Y-15.016
153 C X73.192 Y5.473 DR- R F500 M
154 CC X80.0 Y-15.0
155 C X80.0 Y6.575 DR- R M
156 L X165.0 R M
157 CC X165.0 Y-15.0
158 C X185.84 Y-20.584 DR- R F500 M
159 L X179.137 Y-45.6 R M
160 CC X158.297 Y-40.016
161 C X176.651 Y-51.356 DR- R F500 M
162 CC X155.086 Y-52.0
163 C X175.926 Y-57.584 DR- R M
164 L X164.405 Y-100.579 R M
165 CC X143.565 Y-94.995



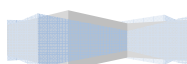
166 C X145.501 Y-116.483 DR- R F500 M
167 CC X144.831 Y-109.045
168 C X138.224 Y-112.526 DR- R M
169 CC X131.132 Y-116.263
170 C X131.131 Y-108.247 DR+ R M
171 L X118.567 Y-108.249 R M
172 CC X118.565 Y-94.999
173 C X105.767 Y-91.569 DR- R F500 M
174 L X106.12 Y-90.25 R M
175 L X98.554 R F500 M
176 L X96.367 Y-98.414 R F500 M
177 CC X83.568 Y-94.984
178 C X83.568 Y-108.234 DR- R F500 M
179 L X58.568 R M
180 CC X58.568 Y-94.984
181 C X51.797 Y-106.374 DR- R F500 M
182 CC X45.0 Y-95.0
183 C X45.0 Y-108.25 DR- R M
184 L X20.0 R M
185 CC X20.0 Y-95.0
186 C X7.201 Y-91.571 DR- R F500 M
187 L X28.633 Y-11.586 R M
188 CC X41.432 Y-15.016
189 C X41.432 Y-1.766 DR- R F500 M
190 L X66.432 R M
191 CC X66.432 Y-15.016
192 C X73.203 Y-3.626 DR- R F500 M
193 CC X80.0 Y-15.0
194 C X80.0 Y-1.75 DR- R M
195 L X165.0 R M
196 CC X165.0 Y-15.0
197 C X177.799 Y-18.429 DR- R F500 M
198 L X171.096 Y-43.445 R M
199 CC X158.297 Y-40.016
200 C X168.001 Y-49.038 DR- R F500 M
201 CC X155.086 Y-52.0
202 C X167.884 Y-55.429 DR- R M
203 L X156.364 Y-98.425 R M
204 CC X143.565 Y-94.995
205 C X143.567 Y-108.245 DR- R F500 M
206 L X131.131 Y-108.247 R M
207 L Z25.0 R FMAX M
208 L X0. Y0. R0 F M25
209 STOP M
210 TOOL DEF 3 L0 R3.0
211 TOOL CALL 3 Z S3000
212 L X72.388 Y-9.779 R0 F3999 M3
213 L R F M8
214 L Z2.0 R FMAX M
215 L Z-5.333 R F250 M
216 L X71.826 Y-13.031 R F500 M
217 CC X66.432 Y-15.016
218 C X71.984 Y-16.503 DR- R F500 M
219 L X50.552 Y-96.488 R M
220 CC X45.0 Y-95.0
221 C X50.399 Y-96.972 DR- R F500 M



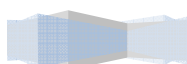
222 L X50.968 Y-100.223 R M
223 L X52.612 Y-100.221 R F500 M
224 L X53.174 Y-96.969 R F500 M
225 CC X58.568 Y-94.984
226 C X53.016 Y-93.497 DR- R F500 M
227 L X74.448 Y-13.512 R M
228 CC X80.0 Y-15.0
229 C X74.601 Y-13.028 DR- R F500 M
230 L X74.032 Y-9.777 R M
231 L X79.417 Y-8.918 R F500 M
232 L X77.937 Y-11.868 R F500 M
233 CC X80.0 Y-15.0
234 C X76.378 Y-14.029 DR+ R F500 M
235 L X54.946 Y-94.014 R M
236 CC X58.568 Y-94.984
237 C X56.513 Y-98.121 DR+ R F500 M
238 L X57.999 Y-101.067 R M
239 L X45.583 Y-101.082 R F500 M
240 L X47.063 Y-98.132 R F500 M
241 CC X45.0 Y-95.0
242 C X48.622 Y-95.971 DR+ R F500 M
243 L X70.054 Y-15.986 R M
244 CC X66.432 Y-15.016
245 C X68.487 Y-11.879 DR+ R F500 M
246 L X67.001 Y-8.933 R M
247 L X72.388 Y-9.779 R F500 M
248 L Z-9.667 R F250 M
249 L X71.826 Y-13.031 R F500 M
250 CC X66.432 Y-15.016
251 C X71.984 Y-16.503 DR- R F500 M
252 L X50.552 Y-96.488 R M
253 CC X45.0 Y-95.0
254 C X50.399 Y-96.972 DR- R F500 M
255 L X50.968 Y-100.223 R M
256 L X52.612 Y-100.221 R F500 M
257 L X53.174 Y-96.969 R F500 M
258 CC X58.568 Y-94.984
259 C X53.016 Y-93.497 DR- R F500 M
260 L X74.448 Y-13.512 R M
261 CC X80.0 Y-15.0
262 C X74.601 Y-13.028 DR- R F500 M
263 L X74.032 Y-9.777 R M
264 L X79.417 Y-8.918 R F500 M
265 L X77.937 Y-11.868 R F500 M
266 CC X80.0 Y-15.0
267 C X76.378 Y-14.029 DR+ R F500 M
268 L X54.946 Y-94.014 R M
269 CC X58.568 Y-94.984
270 C X56.513 Y-98.121 DR+ R F500 M
271 L X57.999 Y-101.067 R M
272 L X45.583 Y-101.082 R F500 M
273 L X47.063 Y-98.132 R F500 M
274 CC X45.0 Y-95.0
275 C X48.622 Y-95.971 DR+ R F500 M
276 L X70.054 Y-15.986 R M
277 CC X66.432 Y-15.016



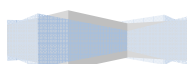
278 C X68.487 Y-11.879 DR+ R F500 M
279 L X67.001 Y-8.933 R M
280 L X72.388 Y-9.779 R F500 M
281 L Z-14.0 R F250 M
282 L X71.826 Y-13.031 R F500 M
283 CC X66.432 Y-15.016
284 C X71.984 Y-16.503 DR- R F500 M
285 L X50.552 Y-96.488 R M
286 CC X45.0 Y-95.0
287 C X50.399 Y-96.972 DR- R F500 M
288 L X50.968 Y-100.223 R M
289 L X52.612 Y-100.221 R F500 M
290 L X53.174 Y-96.969 R F500 M
291 CC X58.568 Y-94.984
292 C X53.016 Y-93.497 DR- R F500 M
293 L X74.448 Y-13.512 R M
294 CC X80.0 Y-15.0
295 C X74.601 Y-13.028 DR- R F500 M
296 L X74.032 Y-9.777 R M
297 L X79.417 Y-8.918 R F500 M
298 L X77.937 Y-11.868 R F500 M
299 CC X80.0 Y-15.0
300 C X76.378 Y-14.029 DR+ R F500 M
301 L X54.946 Y-94.014 R M
302 CC X58.568 Y-94.984
303 C X56.513 Y-98.121 DR+ R F500 M
304 L X57.999 Y-101.067 R M
305 L X45.583 Y-101.082 R F500 M
306 L X47.063 Y-98.132 R F500 M
307 CC X45.0 Y-95.0
308 C X48.622 Y-95.971 DR+ R F500 M
309 L X70.054 Y-15.986 R M
310 CC X66.432 Y-15.016
311 C X68.487 Y-11.879 DR+ R F500 M
312 L X67.001 Y-8.933 R M
313 L Z25.0 R FMAX M
314 L X101.104 Y-82.4 R F M
315 L Z2.0 R FMAX M
316 L Z-5.333 R F250 M
317 L X98.246 Y-80.75 R F500 M
318 L X91.265 R F500 M
319 L X89.458 Y-87.493 R F500 M
320 L X90.312 Y-90.681 R F500 M
321 L X109.233 Y-84.632 R F500 M
322 L X111.925 Y-82.723 R F500 M
323 CC X111.388 Y-77.0
324 C X116.941 Y-78.488 DR+ R F500 M
325 L X123.639 Y-53.488 R M
326 CC X118.087 Y-52.0
327 C X118.087 Y-46.252 DR+ R F500 M
328 L X102.577 R M
329 L X102.708 Y-45.764 R F500 M
330 L X158.297 R F500 M
331 CC X158.297 Y-40.016
332 C X159.098 Y-45.707 DR+ R F500 M
333 L X162.158 Y-46.943 R M



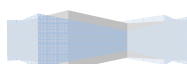
334 L X161.893 Y-47.931 R F500 M
335 L X158.626 Y-47.471 R F500 M
336 CC X155.086 Y-52.0
337 C X155.086 Y-46.252 DR+ R F500 M
338 L X130.087 R M
339 CC X130.087 Y-52.0
340 C X124.535 Y-50.512 DR+ R F500 M
341 L X114.877 Y-86.554 R M
342 L X112.544 Y-88.887 R F500 M
343 L X113.043 Y-94.744 R F500 M
344 L X115.376 Y-92.411 R F500 M
345 L X126.465 Y-51.029 R F500 M
346 CC X130.087 Y-52.0
347 C X130.087 Y-48.25 DR- R F500 M
348 L X155.086 R M
349 CC X155.086 Y-52.0
350 C X158.701 Y-51.003 DR- R F500 M
351 L X161.051 Y-53.319 R M
352 L X164.123 Y-41.856 R F500 M
353 L X160.929 Y-42.687 R F500 M
354 CC X158.297 Y-40.016
355 C X158.297 Y-43.766 DR- R F500 M
356 L X101.175 R M
357 L X99.973 Y-48.25 R F500 M
358 L X118.087 R F500 M
359 CC X118.087 Y-52.0
360 C X121.709 Y-52.971 DR- R F500 M
361 L X115.011 Y-77.971 R M
362 CC X111.388 Y-77.0
363 C X111.388 Y-80.75 DR- R F500 M
364 L X106.429 R M
365 L X103.571 Y-82.4 R F500 M
366 L X101.104 R F500 M
367 L Z-9.667 R F250 M
368 L X98.246 Y-80.75 R F500 M
369 L X91.265 R F500 M
370 L X89.458 Y-87.493 R F500 M
371 L X90.312 Y-90.681 R F500 M
372 L X109.233 Y-84.632 R F500 M
373 L X111.925 Y-82.723 R F500 M
374 CC X111.388 Y-77.0
375 C X116.941 Y-78.488 DR+ R F500 M
376 L X123.639 Y-53.488 R M
377 CC X118.087 Y-52.0
378 C X118.087 Y-46.252 DR+ R F500 M
379 L X102.577 R M
380 L X102.708 Y-45.764 R F500 M
381 L X158.297 R F500 M
382 CC X158.297 Y-40.016
383 C X159.098 Y-45.707 DR+ R F500 M
384 L X162.158 Y-46.943 R M
385 L X161.893 Y-47.931 R F500 M
386 L X158.626 Y-47.471 R F500 M
387 CC X155.086 Y-52.0
388 C X155.086 Y-46.252 DR+ R F500 M
389 L X130.087 R M



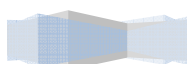
390 CC X130.087 Y-52.0
391 C X124.535 Y-50.512 DR+ R F500 M
392 L X114.877 Y-86.554 R M
393 L X112.544 Y-88.887 R F500 M
394 L X113.043 Y-94.744 R F500 M
395 L X115.376 Y-92.411 R F500 M
396 L X126.465 Y-51.029 R F500 M
397 CC X130.087 Y-52.0
398 C X130.087 Y-48.25 DR- R F500 M
399 L X155.086 R M
400 CC X155.086 Y-52.0
401 C X158.701 Y-51.003 DR- R F500 M
402 L X161.051 Y-53.319 R M
403 L X164.123 Y-41.856 R F500 M
404 L X160.929 Y-42.687 R F500 M
405 CC X158.297 Y-40.016
406 C X158.297 Y-43.766 DR- R F500 M
407 L X101.175 R M
408 L X99.973 Y-48.25 R F500 M
409 L X118.087 R F500 M
410 CC X118.087 Y-52.0
411 C X121.709 Y-52.971 DR- R F500 M
412 L X115.011 Y-77.971 R M
413 CC X111.388 Y-77.0
414 C X111.388 Y-80.75 DR- R F500 M
415 L X106.429 R M
416 L X103.571 Y-82.4 R F500 M
417 L X101.104 R F500 M
418 L Z-14.0 R F250 M
419 L X98.246 Y-80.75 R F500 M
420 L X91.265 R F500 M
421 L X89.458 Y-87.493 R F500 M
422 L X90.312 Y-90.681 R F500 M
423 L X109.233 Y-84.632 R F500 M
424 L X111.925 Y-82.723 R F500 M
425 CC X111.388 Y-77.0
426 C X116.941 Y-78.488 DR+ R F500 M
427 L X123.639 Y-53.488 R M
428 CC X118.087 Y-52.0
429 C X118.087 Y-46.252 DR+ R F500 M
430 L X102.577 R M
431 L X102.708 Y-45.764 R F500 M
432 L X158.297 R F500 M
433 CC X158.297 Y-40.016
434 C X159.098 Y-45.707 DR+ R F500 M
435 L X162.158 Y-46.943 R M
436 L X161.893 Y-47.931 R F500 M
437 L X158.626 Y-47.471 R F500 M
438 CC X155.086 Y-52.0
439 C X155.086 Y-46.252 DR+ R F500 M
440 L X130.087 R M
441 CC X130.087 Y-52.0
442 C X124.535 Y-50.512 DR+ R F500 M
443 L X114.877 Y-86.554 R M
444 L X112.544 Y-88.887 R F500 M
445 L X113.043 Y-94.744 R F500 M



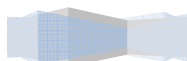
446 L X115.376 Y-92.411 R F500 M
447 L X126.465 Y-51.029 R F500 M
448 CC X130.087 Y-52.0
449 C X130.087 Y-48.25 DR- R F500 M
450 L X155.086 R M
451 CC X155.086 Y-52.0
452 C X158.701 Y-51.003 DR- R F500 M
453 L X161.051 Y-53.319 R M
454 L X164.123 Y-41.856 R F500 M
455 L X160.929 Y-42.687 R F500 M
456 CC X158.297 Y-40.016
457 C X158.297 Y-43.766 DR- R F500 M
458 L X101.175 R M
459 L X99.973 Y-48.25 R F500 M
460 L X118.087 R F500 M
461 CC X118.087 Y-52.0
462 C X121.709 Y-52.971 DR- R F500 M
463 L X115.011 Y-77.971 R M
464 CC X111.388 Y-77.0
465 C X111.388 Y-80.75 DR- R F500 M
466 L X106.429 R M
467 L X103.571 Y-82.4 R F500 M
468 L Y-80.75 R F500 M
469 CC X102.188 Y-81.65
470 C X102.188 Y-80.0 DR+ R F250 M
471 L X90.689 R F500 M
472 L X86.466 Y-95.761 R F500 M
473 CC X83.568 Y-94.984
474 C X83.568 Y-97.984 DR- R F750 M
475 L X58.568 R F500 M
476 CC X58.568 Y-94.984
477 C X55.67 Y-94.208 DR- R F750 M
478 L X77.102 Y-14.224 R F500 M
479 CC X80.0 Y-15.0
480 C X80.0 Y-12.0 DR- R F750 M
481 L X165.0 R F500 M
482 CC X165.0 Y-15.0
483 C X167.898 Y-15.776 DR- R F750 M
484 L X161.195 Y-40.792 R F500 M
485 CC X158.297 Y-40.016
486 C X158.297 Y-43.016 DR- R F750 M
487 L X100.599 R F500 M
488 L X98.996 Y-49.0 R F500 M
489 L X118.087 R F500 M
490 CC X118.087 Y-52.0
491 C X120.985 Y-52.776 DR- R F750 M
492 L X114.286 Y-77.776 R F500 M
493 CC X111.388 Y-77.0
494 C X111.388 Y-80.0 DR- R F750 M
495 L X99.188 R F500 M
496 CC X99.188 Y-81.65
497 C X98.401 Y-80.2 DR+ R F250 M
498 L X97.805 Y-80.75 R F500 M
499 L X117.115 Y-85.924 R F500 M
500 CC X116.603 Y-84.355
501 C X118.197 Y-84.782 DR+ R F250 M



502 L X127.189 Y-51.224 R F500 M
503 CC X130.087 Y-52.0
504 C X130.087 Y-49.0 DR- R F750 M
505 L X155.086 R F500 M
506 CC X155.086 Y-52.0
507 C X157.984 Y-52.776 DR- R F750 M
508 L X146.463 Y-95.772 R F500 M
509 CC X143.565 Y-94.995
510 C X143.566 Y-97.995 DR- R F750 M
511 L X118.566 Y-97.999 R F500 M
512 CC X118.565 Y-94.999
513 C X115.668 Y-94.222 DR- R F750 M
514 L X118.973 Y-81.885 R F500 M
515 CC X117.38 Y-81.458
516 C X118.984 Y-81.073 DR+ R F250 M
517 L X118.607 Y-80.355 R F500 M
518 L Z25.0 R FMAX M
519 L X57.214 Y-63.905 R F M
520 L Z2.0 R FMAX M
521 L Z-0.97 R F250 M
522 L X63.214 Z-1.491 R F250 M
523 L X57.214 Z-2.012 R F250 M
524 L X63.214 Z-2.534 R F250 M
525 L X57.214 Z-3.055 R F250 M
526 L X63.214 Z-3.576 R F250 M
527 L X57.214 Z-4.097 R F250 M
528 L X63.214 Z-4.618 R F250 M
529 L X57.214 Z-5.14 R F250 M
530 L X63.214 Z-5.661 R F250 M
531 L X57.214 Z-6.182 R F250 M
532 L X63.214 Z-6.703 R F250 M
533 L X57.214 Z-7.224 R F250 M
534 L X63.214 Z-7.746 R F250 M
535 L X57.214 Z-8.267 R F250 M
536 L X63.214 Z-8.788 R F250 M
537 L X57.214 Z-9.309 R F250 M
538 L X63.214 Z-9.83 R F250 M
539 L X57.214 Z-10.352 R F250 M
540 L X63.214 Z-10.873 R F250 M
541 L X57.214 Z-11.394 R F250 M
542 L X63.214 Z-11.915 R F250 M
543 L X57.214 Z-12.436 R F250 M
544 L X63.214 Z-12.958 R F250 M
545 L X57.214 Z-13.479 R F250 M
546 L X63.214 Z-14.0 R F250 M
547 L X57.214 R F500 M
548 L X56.528 Y-64.338 R F500 M
549 CC X57.726 Y-65.473
550 C X56.132 Y-65.046 DR+ R F250 M
551 L X47.898 Y-95.776 R F500 M
552 CC X45.0 Y-95.0
553 C X45.0 Y-98.0 DR- R F750 M
554 L X20.0 R F500 M
555 CC X20.0 Y-95.0
556 C X17.102 Y-94.224 DR- R F750 M
557 L X38.534 Y-14.239 R F500 M

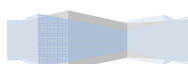


558 CC X41.432 Y-15.016
559 C X41.432 Y-12.016 DR- R F750 M
560 L X66.432 R F500 M
561 CC X66.432 Y-15.016
562 C X69.33 Y-15.792 DR- R F750 M
563 L X55.355 Y-67.944 R F500 M
564 CC X56.949 Y-68.371
565 C X55.345 Y-68.755 DR+ R F250 M
566 L X55.722 Y-69.474 R F500 M
567 L Z25.0 R FMAX M
568 L R F M25
569 L R F M2
570 END PGM 100 MM



ANEXO II

Dados relativos à peça 1



Peça 1

Tabela 1 – Preço, para a empresa, para realização de encomenda mensal consoante o método de maquinagem

Nº de peças	FeatureCAM	PowerMILL	Programação manual	Maquinagem convencional
1	6,80	8,90	13,35	2,68
5	13,08	16,22	19,63	13,38
10	20,93	25,38	27,48	26,75
15	28,78	34,54	35,33	40,13
20	36,63	43,70	43,18	53,50
25	44,48	52,86	51,03	66,88

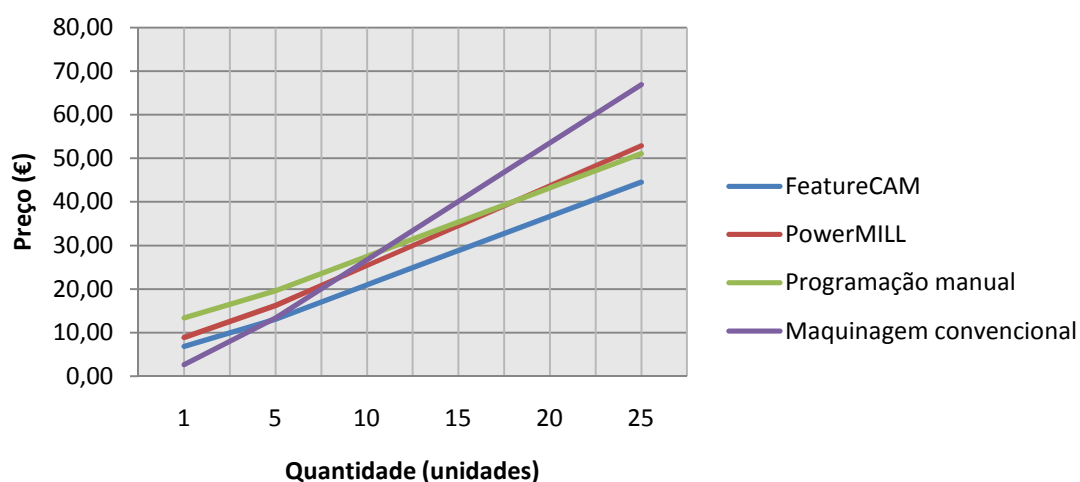


Figura 1 – Gráfico Preço Vs Quantidade de peças para encomenda mensal

Tabela 2 – Extrapolação de preço, para a empresa, para realização de encomenda mensal consoante o método de maquinagem durante 4 anos

Nº de peças	FeatureCAM	PowerMILL	Programação manual	Maquinagem convencional
100	162,2	190,2	180,6	267,5
200	319,2	373,4	337,6	535,0
300	476,2	556,6	494,6	802,5
400	633,2	739,7	651,6	1070,0
500	790,2	922,9	808,6	1337,5
600	947,2	1106,1	965,6	1605,0
700	1104,2	1289,2	1122,6	1872,5
800	1261,2	1472,4	1279,6	2140,0
900	1418,2	1655,6	1436,6	2407,5
1000	1575,2	1838,7	1593,6	2675,0
1100	1732,2	2021,9	1750,6	2942,5
1200	1889,2	2205,1	1907,6	3210,0

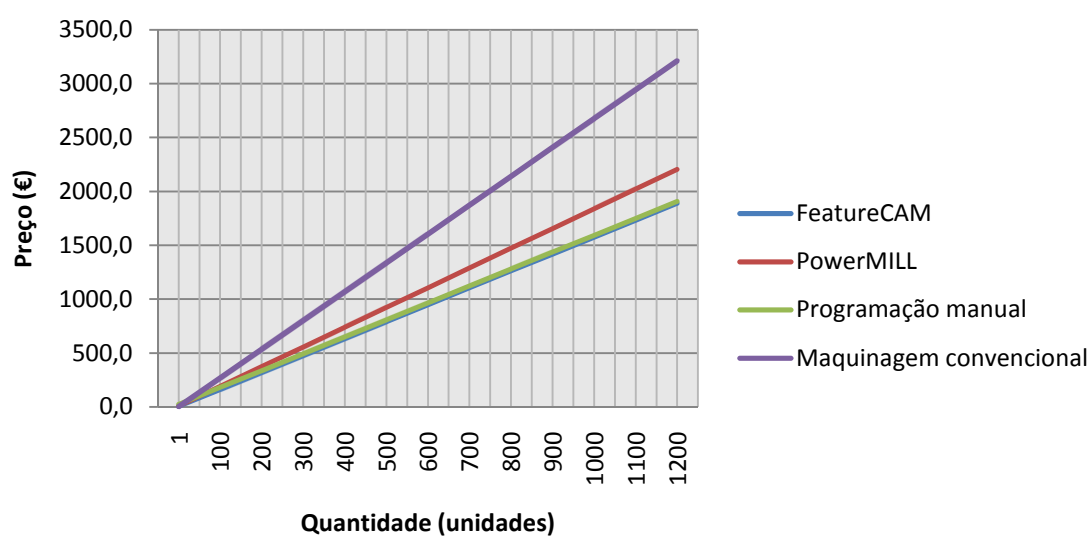
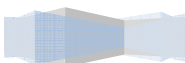


Figura 2 – Gráfico Preço Vs Quantidade de peças para encomenda mensal

ANEXO III

Dados relativos à peça 2



Dados relativos à peça 2

Tabela 1 – Preço, para a empresa, para realização de encomenda mensal consoante o método de maquinagem

Quantidade	FeatureCAM	PowerMILL	Programação manual	Maquinagem convencional
1	10,99	12,82	16,22	8,92
2	17,53	19,89	21,98	17,83
4	30,62	34,02	33,49	35,67
6	43,70	48,15	45,01	53,50
8	56,78	62,28	56,52	71,33
10	69,87	76,41	68,03	89,17

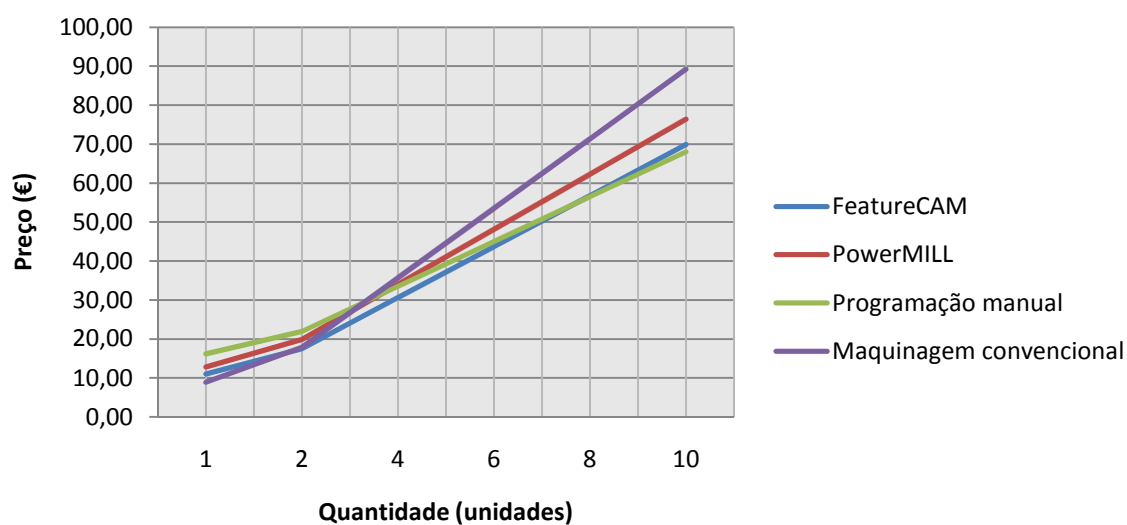


Figura 1 – Gráfico Preço Vs Quantidade de peças para encomenda mensal

Tabela 2 – Extrapolação de preço, para a empresa, para realização de encomenda mensal consoante o método de maquinagem durante 4 anos

Quantidade	FeatureCAM	PowerMILL	Programação manual	Maquinagem convencional
1	10,99	12,82	16,22	8,92
120	789,45	853,56	701,27	1070,00
240	1574,45	1701,36	1392,07	2140,00
360	2359,45	2549,16	2082,87	3210,00
480	3144,45	3396,96	2773,67	4280,00

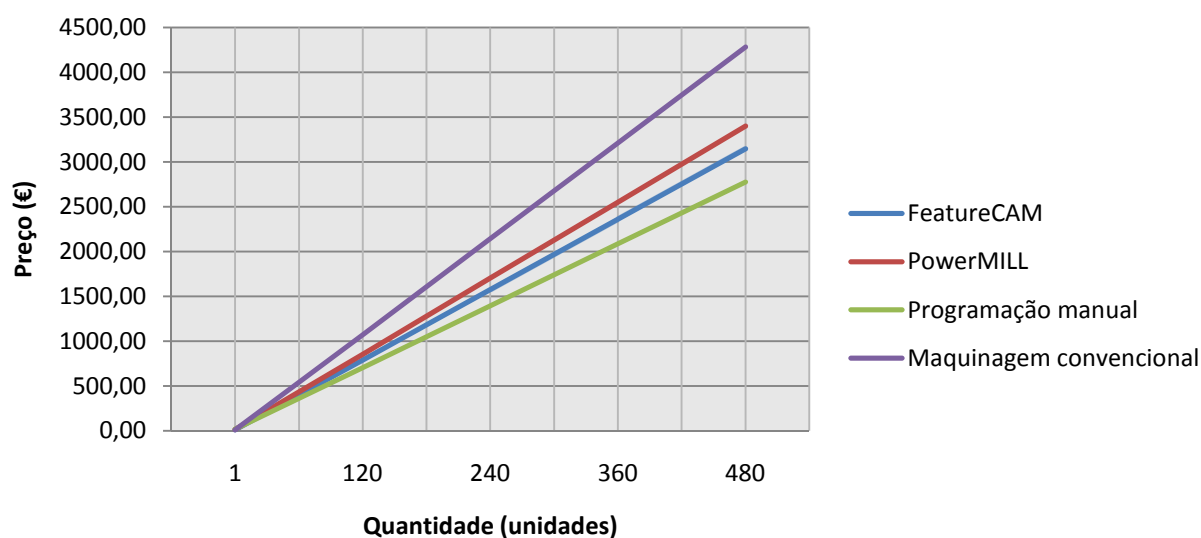


Figura 2 – Gráfico Preço Vs Quantidade de peças para encomenda mensal

ANEXO

IV

Dados relativos à peça 3

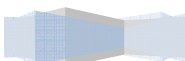


Tabela 1 – Preço, para a empresa, para realização de encomenda mensal consoante o método de maquinagem

Quantidade	FeatureCAM	PowerMILL	Programação manual	Maquinagem convencional
1	2,49	3,79	8,48	1,25
10	8,37	9,68	14,13	12,48
20	14,92	16,22	20,41	24,97
30	21,46	22,77	26,69	37,45
40	28,00	29,31	32,97	49,93
50	34,54	35,85	39,25	62,42
60	41,08	42,39	45,53	74,90

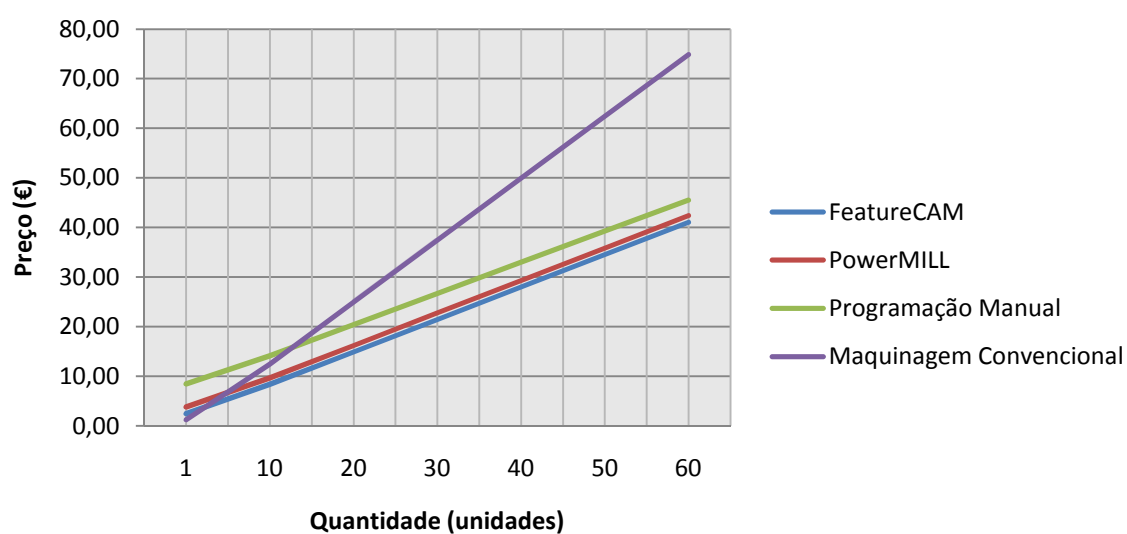


Figura 1 – Gráfico Preço Vs Quantidade de peças para encomenda mensal

Tabela 2 – Extrapolação de preço, para a empresa, para realização de encomenda mensal consoante o método de maquinagem durante 4 anos

Quantidade	FeatureCAM	PowerMILL	Programação manual	Maquinagem convencional
1	2,485833333	3,794166667	8,478	1,248333333
240	158,8316667	160,14	158,57	299,6
480	315,8316667	317,14	309,29	599,2
720	472,8316667	474,14	460,01	898,8
960	629,8316667	631,14	610,73	1198,4
1200	786,8316667	788,14	761,45	1498
1440	943,8316667	945,14	912,17	1797,6
1680	1100,831667	1102,14	1062,89	2097,2
1920	1257,831667	1259,14	1213,61	2396,8
2160	1414,831667	1416,14	1364,33	2696,4
2400	1571,831667	1573,14	1515,05	2996
2640	1728,831667	1730,14	1665,77	3295,6
2880	1885,831667	1887,14	1816,49	3595,2

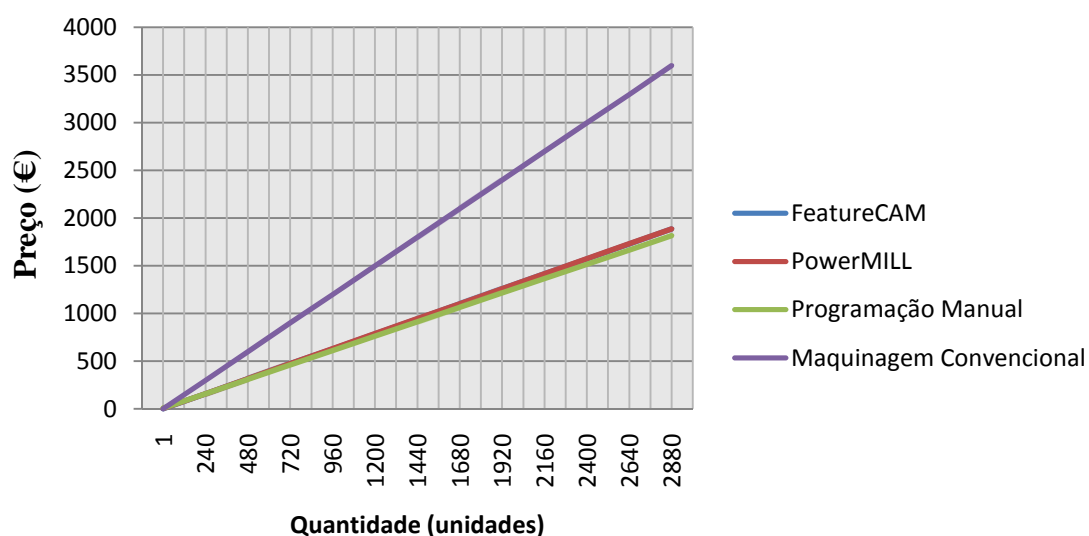
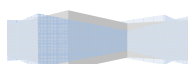


Figura 2 – Gráfico Preço Vs Quantidade de peças para encomenda mensal

ANEXO

V

Aspecto do site desenvolvido



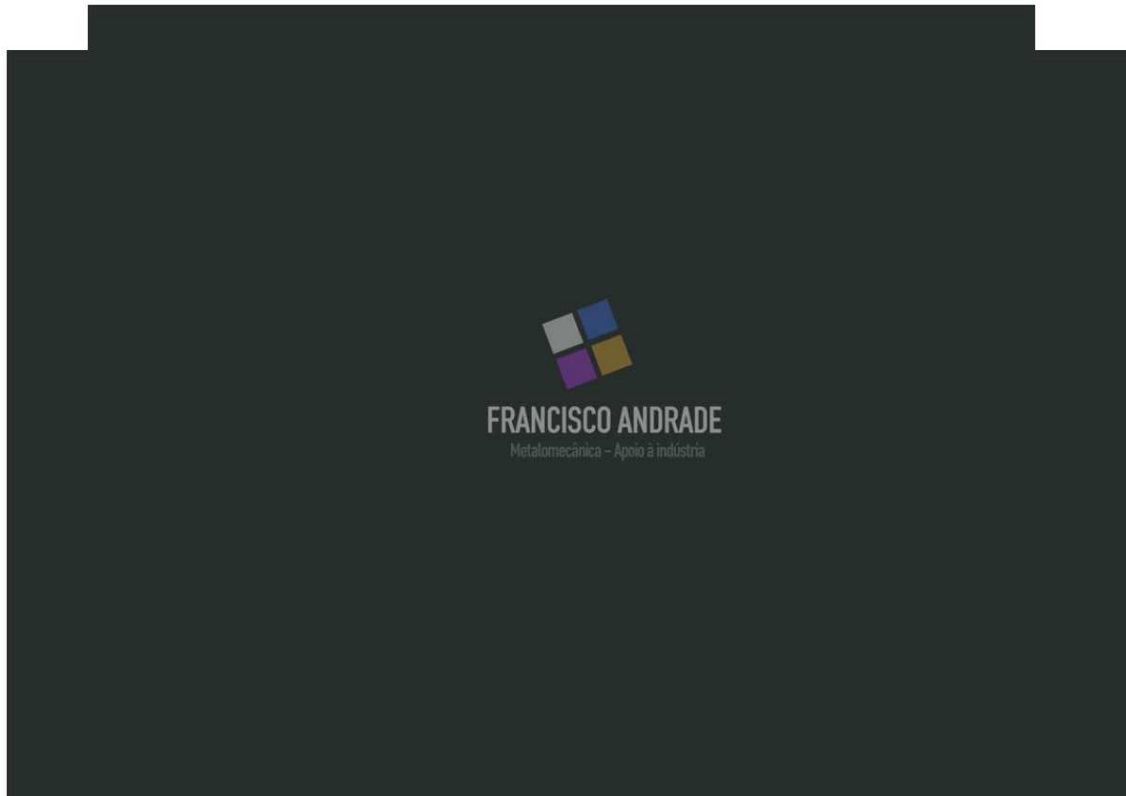


Figura 1 – Página de abertura (com animação)

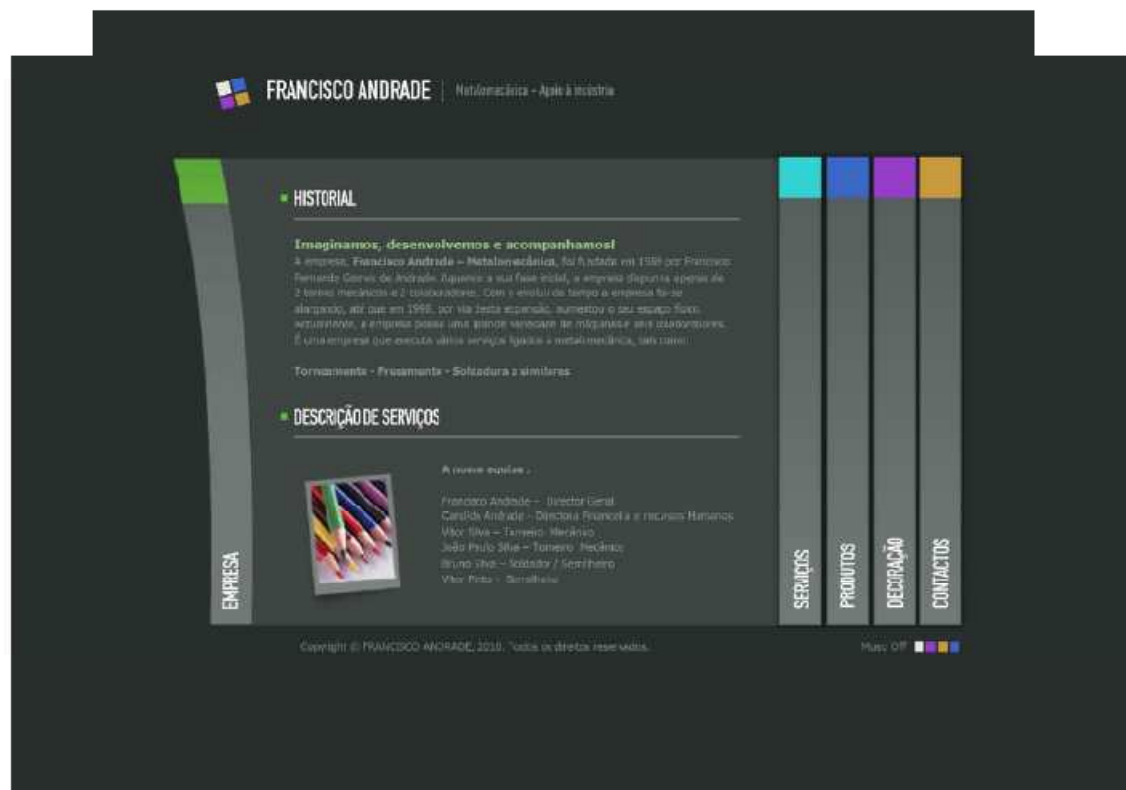
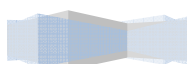


Figura 2 – Secção “Empresa”



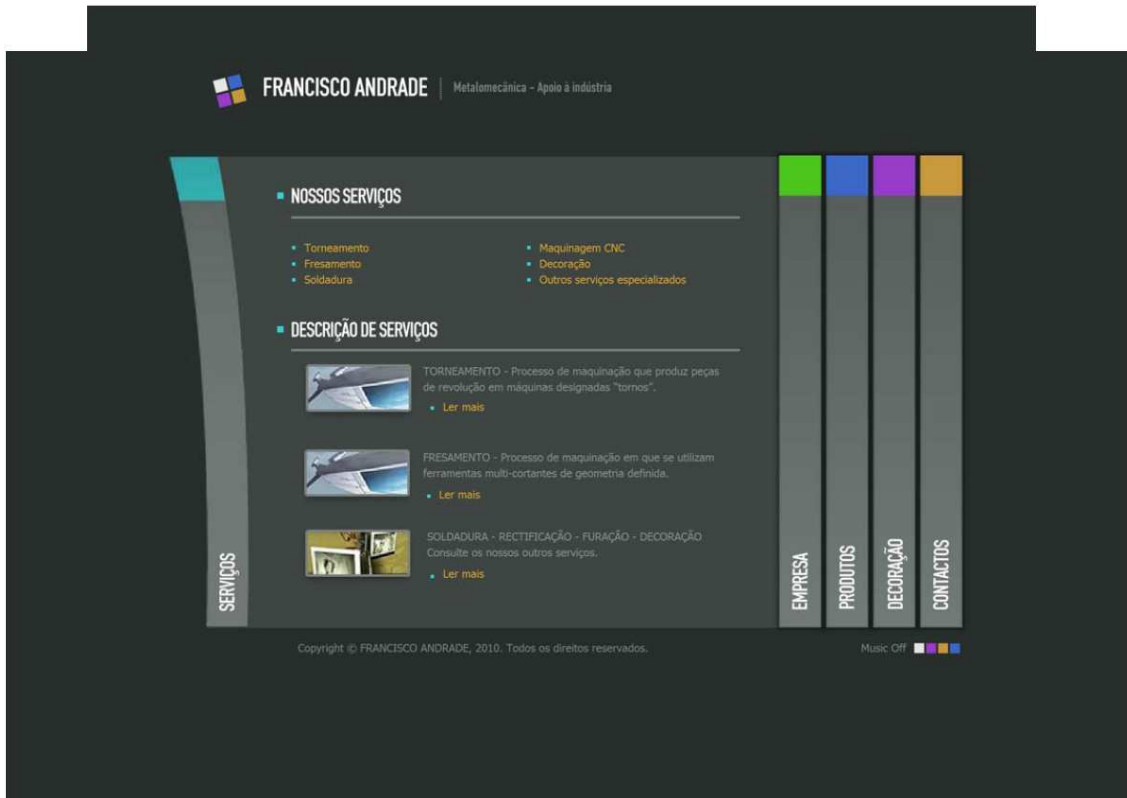


Figura 3 – Secção “Serviços”

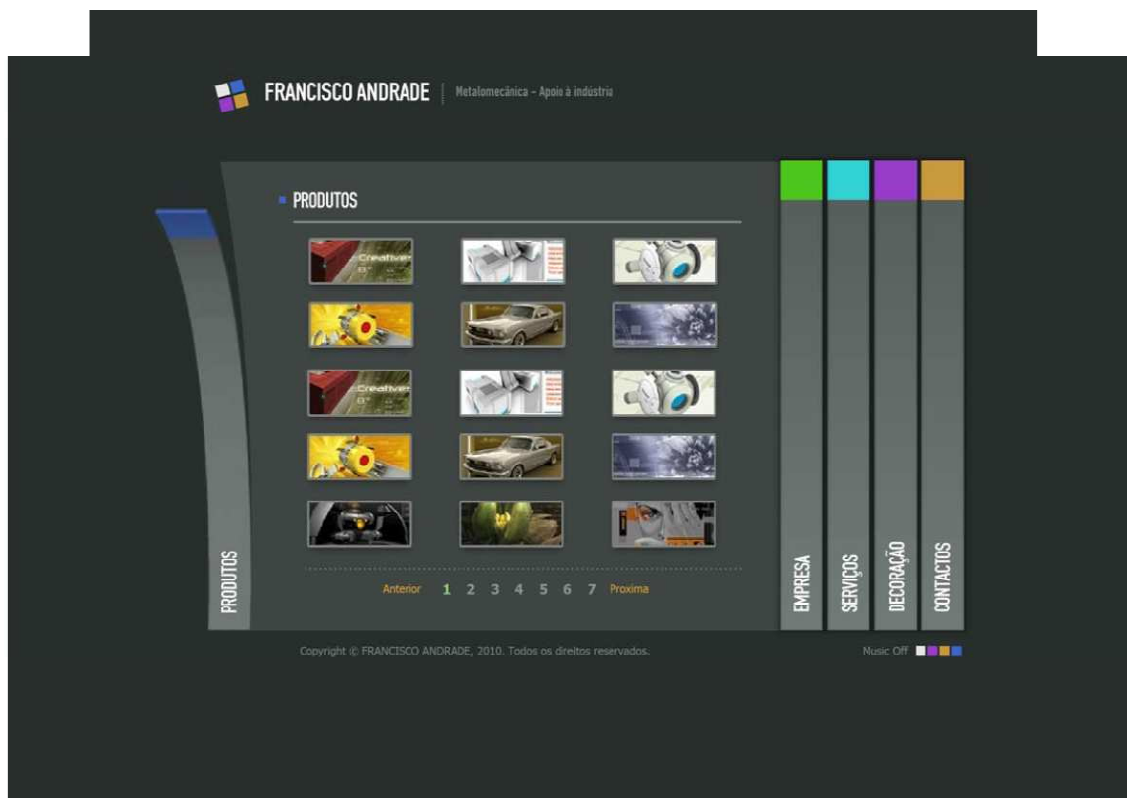


Figura 4 – Secção “Produtos”

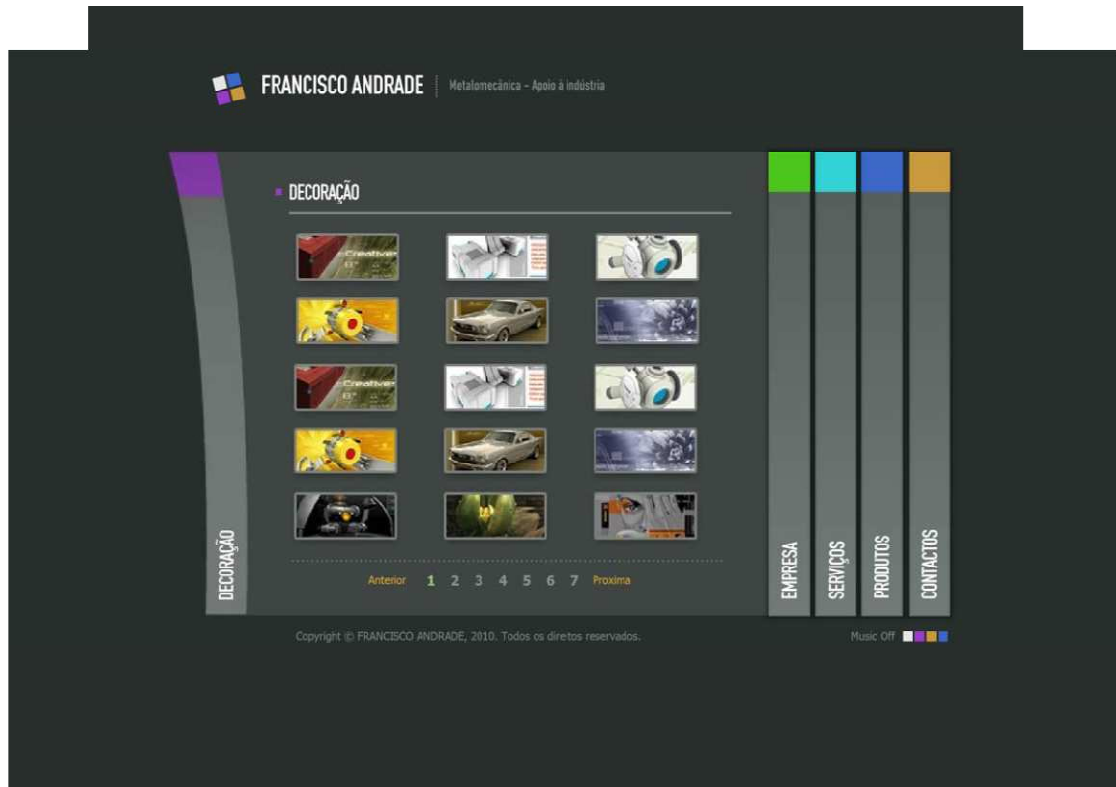


Figura 5 – Secção “Decoração”

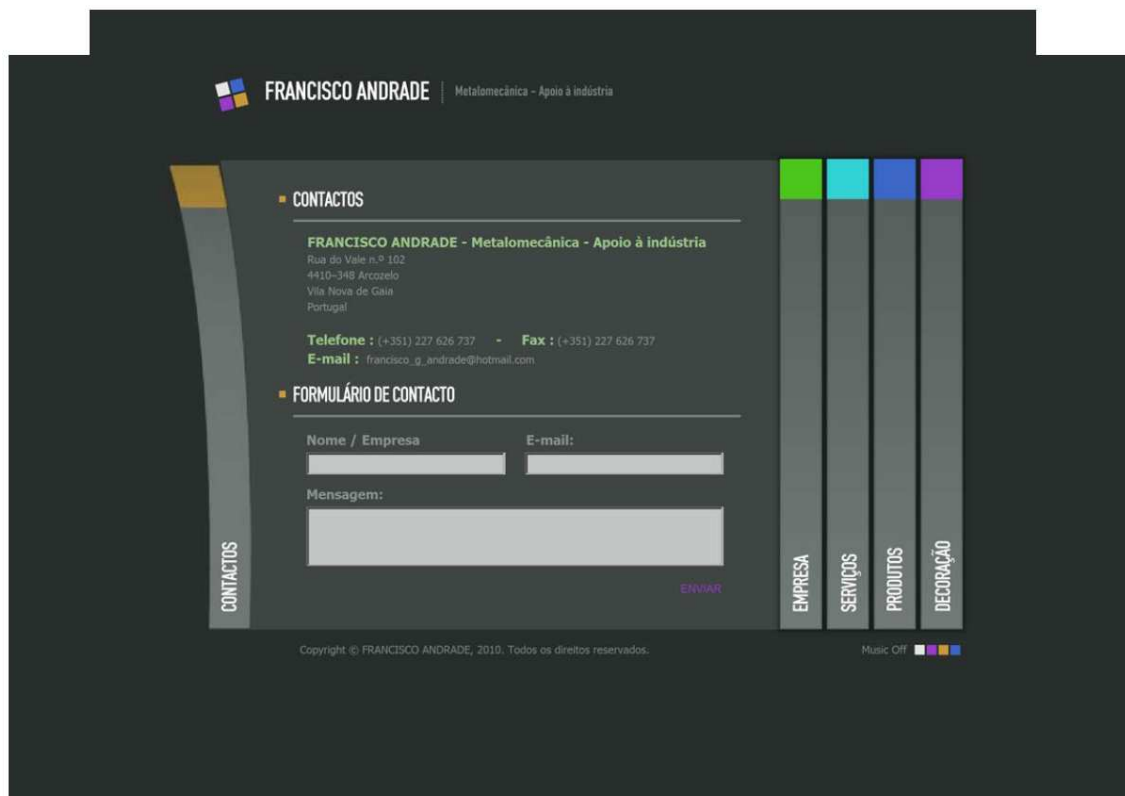


Figura 6 – Secção “Contactos”