



Universidade do Porto

---

**FEUP** Faculdade de  
Engenharia

---

# Implementação de PowerMILL no Grupo Simoldes

---

Análise Curricular

Vitor Martins Augusto

Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Outubro 2010

<i>CANDIDATO</i>	Vítor Manuel Branco Martins Augusto	<i>Código</i>	090508024
<i>TÍTULO</i>	Implementação de PowerMILL no Grupo Simoldes Análise Curricular		
<i>DATA</i>	29 de Setembro de 2010		
<i>LOCAL</i>	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Sala F103- 11h00		
<i>JÚRI</i>	<i>Presidente</i>	Professor Doutor Luís Filipe Malheiros Freitas Ferreira	DEMM/FEUP
	<i>Arguente</i>	Professor Doutor Carlos Alberto Moura Relvas	DEM/UA
	<i>Arguente</i>	Professor Doutor Carlos Alberto Silva Ribeiro	DEMM/FEUP

## Agradecimentos

Quero agradecer às seguintes pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho:

- Ao Professor Doutor Luís Filipe Malheiros pelo apoio prestado no presente mestrado, assim como na minha carreira profissional e académica.
- Ao Professor Doutor Carlos Silva Ribeiro pelo seu apoio continuado na minha carreira profissional e académica.
- Ao Professor Doutor Manuel Vieira pelo seu apoio nas mais diversas questões burocráticas ligadas a este mestrado e à minha actividade de docente.
- Ao Eng.º José Carlos Freitas pelo trabalho de equipa realizado no Grupo Simoldes e pela valiosa ajuda que me deu na utilização do PowerMILL e de maquinaria em geral.
- Ao Eng.º Pedro Vieira de Castro pelo apoio pessoal e profissional que me deu nos últimos 16 anos.
- À minha mulher e filha, pela paciência que tiveram comigo, especialmente nos dois anos da implementação do PowerMILL no Grupo Simoldes.

## Índice

Agradecimentos .....	3
Índice .....	4
Objectivo .....	5
1. Introdução.....	6
2. Trabalho realizado .....	9
2.1 Definição e gestão da implementação do PowerMILL no Grupo Simoldes .....	9
2.2 Formação em PowerMILL no Grupo Simoldes .....	18
2.3 Afição dos pós-processadores .....	20
2.4 Desenvolvimento de automatismos em Visual Basic para PowerMILL.....	23
2.5 Orientação de estágio subordinado à implementação de “standards de maquinação” .....	29
3. Conclusão.....	33
4. Anexos .....	35
4.1 Referências Bibliográficas.....	35
4.2 Código Visual Basic do automatismo “Perfil da Ferramenta” .....	36

## Objectivo

O objectivo deste projecto consistiu na implementação da aplicação CAM “PowerMILL”, da Delcam<sup>(1)</sup>, no Grupo Simoldes, substituindo as aplicações WorkNC e DepoCAM existentes.

Este ambicioso objectivo implicou a formação de mais de 60 operadores, a configuração de aproximadamente 100 centros de maquinagem e o suporte dos operadores durante a fase de arranque.

Os recursos humanos disponíveis consistiram inicialmente em dois Engenheiros da Norcam<sup>(2)</sup>, distribuidor Delcam para zona a norte do país, tendo sido necessário alargar temporariamente os recursos para mais um Engenheiro da Norcam, assim como um Engenheiro e um técnico da Newcam, distribuidor Delcam para a zona sul do país.

## 1. Introdução

O Grupo Simoldes, divisão de moldes, é considerado o maior fabricante europeu de moldes. Iniciou a sua actividade em 1959 com a empresa Simoldes Aços, dispondo actualmente de 6 empresas em Portugal (Simoldes Aços, IMA, IGM, MDA, Mecamolde e Ulmolde), assim como uma empresa no Brasil (Simoldes Brasil) e outra na Argentina<sup>(3)</sup>.

O Grupo Simoldes produz e exporta moldes para mais de 30 países, principalmente para França, Alemanha, Espanha, Suécia, Holanda, Reino Unido, Estados Unidos e Turquia.

Fornece moldes para os principais fabricantes de automóveis, como a Renault, Volvo, BMW, Saab, GM, Ford, Peugeot, Mercedes, Citroen, VW e a Seat. Outras empresas, de outros ramos, incluem Nokia, Hoover, IBM, Whirlpool e a Phillips.

Devido ao crescimento relativamente rápido do grupo, este encontra-se dividido em 6 empresas (em Portugal), que têm uma gestão autónoma. Por esta razão resultaram métodos de trabalho distintos de empresa para empresa, nomeadamente no que diz respeito à utilização de ferramentas CAM distintas (WorkNC e DepoCAM), assim como uma abordagem diferente à maquinagem: programação em gabinete dedicado ou programação pelos operadores das máquinas.

Sendo necessário controlar a produtividade e assegurar a qualidade, foi parcialmente implementado no Grupo Simoldes o sistema Pulse que regista os trabalhos executados nas máquinas fresadoras. Contudo, devido ao facto de os diferentes operadores utilizarem aplicações CAM diferentes, tornou-se inviável medir a produtividade apenas com este sistema Pulse, pois os operadores justificavam operações menos produtivas com as limitações das respectivas aplicações CAM.

Perante este panorama, o Grupo Simoldes determinou objectivos a curto, médio e longo prazo para aumentar a produtividade e a qualidade:

– Curto prazo:

- Utilizar apenas uma ferramenta CAM;
- Formação e suporte competente aos operadores;
- Resolução de problemas existentes.

– Médio prazo:

- Criação de grupos especializados;
- Desenvolvimento de automatismos.

– Longo prazo:

- Definição de procedimentos de maquinagem;
- Base de dados de conhecimento;
- Metodologia para maquinagem uniforme.

A implementação destes objectivos não se afigurava nada fácil devido a inúmeras dificuldades:

- Resistência dos operadores à mudança;
- Necessidade de realizar a implementação sem quebra de produção;
- Existência de um pico de trabalho;
- Problemas técnicos com a própria aplicação CAM.

Mesmo assim, foi tomada, por parte do Grupo Simoldes, a decisão de substituir as aplicações CAM existentes pelo PowerMILL.

Ao contrário do que seria de esperar numa situação destas, onde o procedimento habitual seria uma implementação faseada e espaçada no tempo, o Grupo Simoldes exigiu uma implementação imediata e global, justificando esta decisão com uma experiência adquirida no passado.

Em anteriores migrações de aplicações CAD/CAM verificou-se que a resistência à mudança por parte dos operadores cresce ao longo da fase de implementação. Daí resultou no passado que, sem excepção, ficasse sempre mais do que uma aplicação em utilização por não se conseguir passar todos os operadores para a nova aplicação.

Os últimos operadores a serem formados estavam já a par de todas as fraquezas da nova aplicação, informação essa que é transmitida rapidamente entre os operadores, e acabariam sempre por sabotar a substituição da aplicação à qual estavam habituados, levantando exactamente os problemas específicos que a nova aplicação não processava tão bem como a anterior, independentemente de todas as outras vantagens.

A estratégia do Grupo Simoldes para a implementação do PowerMILL passaria por isso pela radical substituição das aplicações CAM existentes pelo PowerMILL, no menor espaço de tempo possível.



## 2. Trabalho realizado

### 2.1 Definição e gestão da implementação do PowerMILL no Grupo Simoldes

No final do longo processo de compra do PowerMILL, que incluiu diversos testes, licenças de teste, sessões de esclarecimento, etc., o Grupo Simoldes elaborou um caderno de encargos a cumprir pela Norcam e Delcam, no qual um dos pontos dizia respeito à implementação.

O Grupo Simoldes pretendia a implementação do PowerMILL no seu grupo num espaço de tempo curto e sem quebras significativas de produção, salvaguardando não só a fase de implementação do PowerMILL, como também um período de suporte e manutenção de 5 anos, que previa a realização dos objectivos a médio e longo prazo referidos no capítulo anterior.

Tornou-se então necessário definir um plano de implementação do PowerMILL realista para satisfazer as exigências do Grupo Simoldes, mas que seria viável de suportar pela Norcam.

Os manuais de formação providenciados pela Delcam são utilizados na formação de PowerMILL por todos os distribuidores Delcam e a Norcam obteve sempre uma opinião favorável sobre a qualidade da formação administrada desta forma. Foi por isso decidido separar a implementação por fábricas e iniciar com uma formação formal segundo os manuais de formação da Delcam<sup>(4)</sup>, com duração de uma semana e, em seguida, auxiliar os operadores durante 2 semanas.

A Norcam disponibilizou dois técnicos para a implementação.

Em função da receptividade ao PowerMILL por parte dos operadores, escolheu-se a seguinte sequência para as fábricas:

1. MDA 1
2. MDA 2
3. IMA
4. IGM
5. ULMOLDE
6. MECAMOLDE
7. SIMOLDES AÇOS

A escolha das duas fábricas da MDA para iniciar o processo deveu-se ao facto destas empresas terem adoptado a programação NC em gabinete e contarem com equipas de programadores jovens e dispostos a trocar de software. Essa maior disposição para a mudança deve-se ao facto destes operadores utilizarem o WorkNC.

Era expectável que os operadores habituados ao DepoCAM teriam bastante mais relutância em mudar para o PowerMILL.

Foi então estabelecido, em conjunto com os responsáveis do Grupo Simoldes, o seguinte plano (ver Tabela 1), que teve de prever a existência de três turnos para a MDA1 e MDA2 e dois turnos para as restantes fábricas:

MDA1 e MDA2								
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dúvidas
Horário	05.05.08	06.05.08	07.05.08	08.05.08	09.05.08	12.05.08	13.05.08	14.05.08
10h30-13h30	VMA	VMA	VMA	VMA	VMA	-	VMA	VMA + ZF
14h45-17h45	ZF	VMA	ZF	VMA	ZF	ZF	-	VMA + ZF
18h00-21h00	ZF	VMA	ZF	ZF	ZF	ZF	-	
IMA								
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6		Dúvidas
Horário	14.05.08	15.05.08	16.05.08	20.05.08	21.05.08	27.05.08		28.05.08
10h30-13h30	VMA	ZF	VMA	VMA	VMA	VMA		VMA + ZF
14h45-17h45	VMA	ZF	VMA	VMA	VMA	VMA		VMA + ZF
IGM								
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6		Dúvidas
Horário	28.05.08	29.05.08	30.05.08	03.06.08	04.06.08	05.06.08		06.06.08
10h30-13h30	VMA	ZF	VMA	VMA	VMA	ZF		VMA + ZF
14h45-17h45	VMA	ZF	VMA	VMA	VMA	ZF		VMA + ZF

Mecamolde								
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6		Dúvidas
Horário	10.06.08	11.06.08	13.06.08	17.06.08	18.06.08	19.06.08		20.06.08
10h30- 13h30	VMA	VMA	VMA	VMA	VMA	ZF		VMA + ZF
14h45- 17h45	VMA	VMA	VMA	VMA	VMA	ZF		VMA + ZF
Ulmolde								
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6		Dúvidas
Horário	24.06.08	25.06.08	26.06.08	27.06.08	01.07.08	02.07.08		03.07.08
10h30- 13h30	VMA	VMA	ZF	VMA	VMA	ZF		VMA + ZF
14h45- 17h45	VMA	VMA	ZF	VMA	VMA	ZF		VMA + ZF
Simoldes Aços								
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6		Dúvidas
Horário	07.07.08	08.07.08	09.07.08	10.07.08	11.07.08	14.07.08		15.07.08
10h30- 13h30	VMA	VMA	VMA	VMA	VMA	ZF		VMA + ZF
14h45- 17h45	VMA	VMA	VMA	VMA	VMA	ZF		VMA + ZF

Tabela 1: Plano de formação inicialmente previsto. As siglas VMA e ZF correspondem a Vítor Martins Augusto e José Carlos Freitas, respectivamente.

Este plano considerou que, após uma semana de formação formal e uma semana de acompanhamento dos operadores, seria possível finalizar a implementação em cada fábrica em duas semanas.

Assim, um dos técnicos da Norcam ficaria a leccionar os cursos de formação do PowerMILL enquanto o outro estaria a suportar os operadores que já tinham terminado a formação.

Passadas quatro semanas, chegou-se à conclusão que esta metodologia não estava a resultar pois os operadores não estavam aptos a programar autonomamente em PowerMILL após as duas semanas inicialmente previstas.

A isto juntaram-se problemas de natureza técnica e operacional que não tinham sido previstos ou detectados previamente:

- O Grupo Simoldes inesperadamente ficou com um pico de trabalho, tendo sido solicitado um número de moldes muito acima da média.
- Verificaram-se diversos problemas com o PowerMILL:
  - Problemas em lidar com modelos CAD grandes;
  - Problemas em lidar com projectos CAM grandes;
  - Impossibilidade de correr quatro sessões em paralelo de forma a programar para quatro máquinas fresadoras em simultâneo;
  - Falta de funcionalidade para determinar perfil da ferramenta;
  - Diversos erros de software.
- Dificuldade dos operadores na utilização do PowerMILL devido à filosofia de trabalho bastante diferente quando comparada com a do WorkNC.
- Problemas com os pós-processadores.
- Percursos de desgaste com fraca qualidade e elevado consumo de pastilhas.

Após 8 semanas foi então suspensa a formação formal e os técnicos da Norcam concentraram-se apenas no suporte das fábricas MDA1 e MDA2. Nesta altura tornou-se necessário definir em concreto as pessoas responsáveis pela implementação, quer do lado do Grupo Simoldes, quer do lado da Norcam. Como isto não tinha sido feito previamente, a comunicação falhou a vários níveis e tornou-se impossível prosseguir a implementação num clima cada vez mais tenso.

No Grupo Simoldes foi formado um grupo responsável pela implementação, composto pelo Eng.º Castro (director de produção da IGM), Eng.º Vieira (Director de Produção da IMA) e Eng.º Moreira (Director TI do Grupo Simoldes).

Na Norcam foi nomeado o Eng.º Vitor Martins Augusto para coordenar a implementação no Grupo Simoldes enquanto o Eng.º José Carlos Freitas assegurou a direcção técnica, servindo como interface relativamente ao Departamento de Desenvolvimento do PowerMILL na Delcam.

Devido à manifesta limitação dos recursos humanos da Norcam, foi solicitada a colaboração de mais dois técnicos da Newcam, distribuidor da Delcam para a zona sul

do território Português. Prosseguiu-se com o suporte na empresa IMA, com dois técnicos (um da Norcam e outro da Newcam), enquanto o segundo técnico da Norcam foi mantido a dar apoio permanente na MDA1 e MDA2 enquanto o segundo técnico da Newcam ficou encarregue de configurar os pós-processadores.

Esta situação demonstrou que era impossível atingir a meta inicialmente traçada de realizar a implementação do PowerMILL em apenas 6 meses (1 mês por cada empresa do grupo).

Em reuniões regulares foi por isso discutido o avanço da implementação com o Grupo Simoldes que exercia uma enorme pressão sobre a Norcam. Ficou então decidido que se iria terminar as formações e o apoio na IMA e na IGM, concluindo assim metade da implementação, suspendendo nesta fase a formação dos operadores da Ulmolde, Mecamolde e Simoldes Aços.

O empenho da Norcam na conclusão da implementação do PowerMILL na MDA, IMA e IGM criou sérios problemas à subsistência da empresa uma vez que a Norcam deixou de ter os seus técnicos disponíveis para suportar os restantes clientes. Esta situação fez estagnar as vendas e obrigou a um aumento de capital da Norcam através de uma maior participação da Delcam, que passou a deter 49% da empresa.

Os seguintes dados sobre os recursos dispendidos na formação em implementação do PowerMILL na MDA, IMA e IGM ilustram o trabalho realizado:

- A formação foi dada a um total de 46 pessoas.
- Foram necessárias 270 horas de formação segundo o curso de formação da Delcam.
- Foram necessárias 980 horas de suporte e acompanhamento.
- Foram necessárias 50 horas para configuração e adaptação de pós-processadores.
- Foram necessárias 40 horas para desenvolvimento e adaptação de modelos de máquinas para simulação.
- Foram necessárias 15 horas para ajuste de folhas de trabalho (“*setup sheets*”).
- Foram necessárias 25 horas para definição, correcção e replicação de *templates* PowerMILL.
- Foram gastas 138 horas em desenvolvimento de automatismos.
- Após formação e implementação, foram gastas mais 140 horas de suporte.

- Total de horas: 1.658 horas homem

Em simultâneo, foi necessário dialogar com a Delcam no sentido de pressionar a resolução de uma extensa lista de problemas e pedidos de novas funcionalidades.

Como esse desenvolvimento não surgiu tão depressa como o desejado, os dois técnicos da Norcam tiveram de desenvolver soluções imediatas, recorrendo ao desenvolvimento de aplicações em Visual Basic que, por tecnologia OLE, permitiam a execução de funcionalidades ainda não existentes no PowerMILL.

Depois de concluir a primeira fase da implementação na MDA, IMA e IGM, foi marcada uma reunião com os representantes do Grupo Simoldes para negociar a implementação do PowerMILL nas restantes empresas do Grupo: Ulmolde, Mecamolde e Simoldes Aços.

Conseguiu-se acordar que seria dado um prazo de 3 meses para retomar a formação de forma a permitir à Delcam o lançamento de uma versão PowerMILL melhorada e para permitir à Norcam o acesso aos seus técnicos para resolver problemas acumulados nos outros clientes.

Os dados fornecidos pelo Grupo Simoldes sobre o número de operadores a formar foram:

		ULMOLDE (DepoCAM)	MECAMOLDE (WorkNC)	Simoldes Aços (DepoCAM)
Nº de postos		3	3	6
Nº de fresadores		12	11	38
Fresadores por turnos	Manhã	4	4	12
	Tarde	4	4	12
	Noite	-	-	8
	Normal	4	3	6
Programação em gabinete ou pelos fresadores		Fresadores	Fresadores	Fresadores
Fresadores por posto CAM		4 ou 5 (em todos os turnos)	3 ou 4 por turno	3 ou 4 por turno

Tabela 2: Resumo da utilização de sistemas CAM nas restantes fábricas.

Nas reuniões com o Grupo Simoldes, os seus responsáveis tentaram impor prazos muito apertados para a implementação do PowerMILL nas três empresas restantes,

utilizando os seguintes argumentos para os quais foi preciso encontrar contra-argumentações:

– Argumento:

“Desta vez muitos problemas já estão corrigidos, por isso vai demorar menos tempo”

– Resposta:

“Os problemas que surgiram na MDA, IGM e IMA foram de facto devido a problemas do PowerMILL, mas em grande parte também surgiram pelo método de trabalho dos operadores.

Tenho receio que o facto da Mecamolde, Ulmolde e Simoldes Aços terem um método de trabalho diferente das restantes empresas (programação pelos fresadores em vez de programadores CAM dedicados) vá dar origem a um novo conjunto de problemas e dificuldades.”

– Argumento:

“Desta vez podem dar a formação já mais vocacionada para a realidade do Grupo Simoldes, modificando os manuais e exemplos, de forma a contemplarem moldes do Grupo Simoldes.”

– Resposta:

“A Norcam simplesmente utiliza o curso de formação fornecido pela Delcam e não temos recursos para desenvolver um curso de formação novo baseado em modelos do Grupo Simoldes que demoram muito mais tempo a calcular e que frequentemente são problemáticos. Não faz parte da formação apresentar problemas mas sim ensinar a utilizar o PowerMILL.”

– Argumento:

“Vamos dar formação por posto para que o impacto da mudança seja mais suave.”

– Resposta:

“Isso significa que teríamos de dar formação a um máximo de 4 operadores de cada vez e depois suportá-los durante um período de aproximadamente 2 a 4 semanas, o que corresponde a 1.200 a 2.400 horas/homem por parte da Norcam.”

Com base nesta discussão foi decidido um novo método de implementação uma vez que o método aplicado na primeira fase se demonstrou pouco eficaz e demasiado demorado. Este método foi inspirado no facto de serem os operadores a programarem em CAM em vez de utilizarem um gabinete de programação. Idealizou-se por isso uma formação tipo posto a posto para formar os 61 operadores.

Este novo método de implementação consistia no seguinte procedimento:

- Divisão dos operadores em grupos de 4 por formador, que correspondem a um posto CAM;
- Meio-dia de apresentação do PowerMILL, isto é, uma explicação sucinta da filosofia de trabalho do PowerMILL e das principais funcionalidades;
- Substituição da ferramenta CAM existente pelo PowerMILL no posto de trabalho dos operadores;
- Acompanhamento dos operadores no posto PowerMILL durante uma semana, auxiliando na geração dos percursos de maquinagem.

O tempo previsto para implementação do PowerMILL na Mecamolde, Ulmolde e Simoldes Aços foi de 1.600 horas/homem.

Foi acordado que a Norcam disponibilizaria três Engenheiros para a segunda fase. Na realidade, a Norcam já tinha antecipado esta necessidade durante a primeira fase e já tinha contratado um Engenheiro, que teve formação específica durante os três meses de intervalo.

### **Implementação Ulmolde**

Foi ensaiada aqui a nova abordagem na implementação do PowerMILL uma vez que se trata da empresa mais pequena do grupo.

Primeiro configurou-se os postos com o ambiente de trabalho/pós-processadores semelhantes aos das empresas já a trabalhar com PowerMILL

Seguiu-se uma formação de meio-dia a apresentar o PowerMILL, a sua interface com o utilizador e a forma de trabalhar.

Depois simplesmente substitui-se o posto existente pelo novo posto PowerMILL, havendo um formador acompanhando o operador desse posto durante uma semana. Durante este período, o operador, com ajuda do formador, iria maquinar os seus trabalhos, aprendendo como se faz no PowerMILL.



Esta forma de implementar o PowerMILL teve bastante sucesso pois o operador sentia-se bastante mais apoiado, com um acompanhamento mais personalizado.

Na realidade, o operador apenas aprende as ferramentas importantes para o seu tipo de trabalho, em vez de aprender todas as inúmeras funcionalidades do PowerMILL, o que o acabaria por confundir.

No espaço de 4 semanas foi possível implementar o PowerMILL na Ulmolde (3 postos para um conjunto de 12 operadores).

### **Implementação Mecamolde**

Repetiu-se o mesmo procedimento que na Ulmolde. Em 4 semanas foi possível proceder à substituição do software existente.

### **Implementação na Simoldes aços**

Esta fábrica foi considerada aquela onde seria mais difícil implementar o PowerMILL por várias razões:

- É a maior das 6 fábricas;
- É a fábrica mais antiga;
- Operadores mais velhos e mais renitentes a alterações;
- Grupo Simoldes pretendeu também uma redução de 6 para 5 postos CAM.

Foi analisada a situação e decidido proceder a uma implementação faseada. Como a fábrica está organizada por corredores, aproveitou-se esta disposição para implementar o PowerMILL por corredores.

Convenceu-se o grupo Simoldes a manter inicialmente 6 uma vez que vários operadores teriam de partilhar postos CAM e inicialmente demoravam demasiado tempo para permitir uma cadência de trabalho aceitável.

O plano proposto foi:

- 2 postos PowerMILL por corredor, num total de 3 corredores.
- 2 semanas de formação para cada corredor, com a presença permanente de 2 Engenheiros da Norcam.

Foi assim possível concluir a implementação na Simoldes Aços em 8 semanas, ou seja, só 2 semanas após o inicialmente previsto numa perspectiva muito optimista.

## 2.2 Formação em PowerMILL no Grupo Simoldes

A formação dada consistiu inicialmente em seguir o curso de formação de PowerMILL para Iniciados fornecido pela própria Delcam <sup>(4)</sup>.

Este curso é leccionado em 18 horas e contempla os seguintes capítulos:

1. Introdução
2. Configuração da maquinagem
3. Desbaste 3D
4. Acabamento Raster, Radial, Espiral e Padrão
5. 3D Offset e Z Constante
6. Acabamento de Cantos
7. Editando Fronteiras
8. Entradas/Saídas e Ligações
9. Verificação de Colisão
10. Programas NC

Depois da implementação realizada na MDA1, MDA2, IMA e IGM, optou-se por não seguir mais o curso de formação em PowerMILL da Delcam. Em vez disso, passou-se a dedicar meio-dia a mostrar a interface de utilizador do PowerMILL assim como a forma de realizar as tarefas mais comuns.

Em seguida passou-se a acompanhar os operadores no seu trabalho normal, explicando como se faz em PowerMILL.

Esta abordagem de formação revelou-se muito mais expedita de implementar pelas seguintes razões:

- Verificou-se que cada operador apenas maquina um conjunto reduzido de tipos de geometria.
- Por isso, o operador apenas aprende o leque de funcionalidades necessárias para o seu trabalho.

- O operador sente-se mais à vontade pois tem durante duas semanas um técnico ao seu lado que o auxilia na geração dos programas.
- O operador atinge mais rapidamente o conhecimento necessário para realizar as suas tarefas mais comuns pelo que passa a ter mais predisposição para explorar as restantes funcionalidades.

A Norcam passou a seguir este modelo de formação, bastante mais eficiente, sempre que possível. Para poder utilizar esta abordagem do “aprender enquanto se faz”, é fundamental que o operador seja experiente em fresamento e saiba quais as estratégias de maquinagem que pretende aplicar.

### 2.3 Afinação dos pós-processadores

Apesar das máquinas fresadoras no Grupo Simoldes estarem todas equipadas com controladores Fidia ou Heidenhain, o que levou a crer que bastaria configurar apenas dois pós-processadores, rapidamente se chegou à conclusão que os controladores existentes, dois modelos marca Fidia e um modelo marca Heidenhain, necessitavam de um pós-processador individual. Isto deve-se a versões de software diferente em modelos iguais de controladores e, ainda pior, parametrizações distintas em máquinas iguais.

O principal problema detectado com a execução dos programas NC gerados com o PowerMILL foi o facto da máquina andar “aos soluços”, especialmente em operações de desbaste.

Após alguns testes, consulta dos manuais fornecidos com os controladores<sup>(5)</sup> e a engenharia inversa de programas NC já existentes, verificou-se que a origem dos problemas estava na distribuição dos pontos pós-processados. Como um programa NC gerado por uma aplicação CAM consiste essencialmente em movimentos lineares (com excepção de arcos no plano XY e, em alguma máquinas, também nos planos XZ e YZ), o controlador da máquina tenta ajustar a velocidade da máquina relativamente às alterações de direcção.

Para isso os controladores fazem o chamado “look ahead”, isto é, analisam as coordenadas dos próximos pontos e determinam o ângulo da próxima alteração de direcção. Se esse ângulo ultrapassar um determinado valor parametrizado, a máquina abranda, para garantir a execução da trajectória dentro da tolerância da máquina. A figura 1 ilustra esta situação. Deve-se notar que o erro cordal apresentado na representação da esquerda ser inferior à tolerância de cálculo, não tendo por isso influência na qualidade da maquinagem.

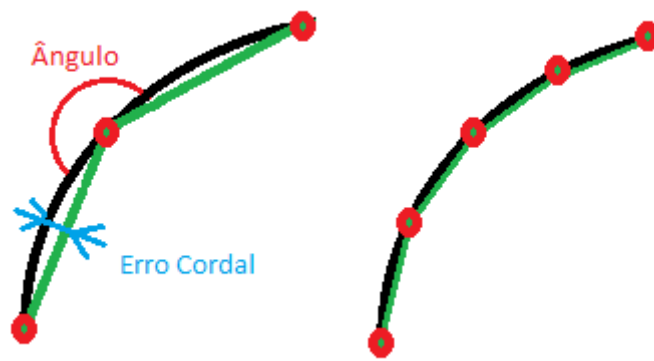


Figura 1 - Ilustração da distribuição de pontos

O PowerMILL gere por defeito programas NC com uma distribuição de pontos de forma a garantir um erro cordal 10 vezes inferior à tolerância de cálculo utilizada. Nos centros de maquinagem com controlador Fidia do Grupo Simoldes verificou-se que os programas assim gerados apresentavam poucos pontos, obrigando a máquina a abrandar com demasiada frequência.

Numa primeira abordagem aumentou-se simplesmente a distribuição de pontos, aumentando por dez vezes o número de pontos pós-processados. Verificou-se que a máquina continuava aos soluços, mas desta vez por excesso de pontos. Como o controlador tem de processar os pontos, ao existirem demasiados pontos, o processamento torna-se mais lento do que a deslocação da máquina.

Optou-se então por uma abordagem sistemática, aumentando por incrementos o número de pontos e registando o comportamento da máquina. Assim foi possível determinar os parâmetros ideais para a distribuição de pontos.

Ao reproduzir esta parametrização nos restantes postos de PowerMILL, verificou-se que a parametrização ideal para a primeira máquina com controlador Fidia não funcionava bem na próxima máquina Fidia, apesar de se tratar de modelos de máquinas e controladores iguais.

Ao confrontar o técnico de manutenção do Grupo Simoldes com o facto da parametrização dos controladores estarem diferentes, este confirmou esta realidade, mas sem oferecer a possibilidade de homogeneizar a configuração dos controladores.

Assim foi necessário repetir o processo de afinação da distribuição de pontos para quase todas as máquinas com controlador Fidia.

Foi, também, de uma grande utilidade poder recorrer ao livro “Controlo Numérico Computorizado”<sup>(6)</sup> para interpretar o código ISO das máquinas, quer nos programas gerados pelas aplicações DepoCAM e WorkNC, quer pelo próprio PowerMILL, de forma a poder implementar as alterações solicitadas pelos operadores, nomeadamente nos cabeçalhos dos programas. Nem sempre seria seguro implementar os pedidos dos operadores, especialmente no que diz respeito às aproximações desde  $Z_{segurança}$  até à primeira coordenada XYZ sobre o aço. Daí ser fundamental compreender cada instrução GSSO, antes de a implementar na configuração do pós-processador.

## 2.4 Desenvolvimento de automatismos em Visual Basic para PowerMILL

Foram desenvolvidos pelos técnicos da Norcam durante o processo de implementação do PowerMILL no Grupo Simoldes os seguintes automatismos:

Nome	Descrição	Tempo
Fronteira de bloco	Cria uma fronteira que permite apenas o raio de ponta da ferramenta for a do bloco, conforme solicitado pelo Grupo Simoldes para reduzir o desgaste das pastilhas.	6
Ângulos A&B para Mecof	Calcula o ângulo mais próximo que case com os ângulos A e B possíveis em máquinas Mecof.	20
Verificação de percursos	Permite a verificação em lote dos percursos.	8
Contador	Gerar automaticamente o nome, Segundo as normas do Grupo Simoldes, para os percursos.	4
Renumeração de percursos	Renumera os percursos editados de forma a lhes dar um nome coerente em vez do apêndice “_1”.	10
Folha Excel de Furação	Geração de figuras de furos e geração automática das folhas de furação.	40
Folha de Serviço com tamanho do modelo	Permite gerar folhas de serviço com indicação do tamanho do modelo.	4
Multi Blocos	Gera blocos individuais quando múltiplos modelos são importados para o mesmo projecto.	8
Perfil de ferramenta	Calcula o perfil de ferramenta máximo para um dado percurso. Similar à funcionalidade do DepoCAM.	20
WorkNC 2 PMILL	Converte suportes de ferramentas em formato WorkNC para formato PowerMILL.	18
	<b>Número de horas gastas em desenvolvimento de utilitários para o Grupo Simoldes, sem considerar o tempo necessário para compreender cada pedido e fazer as respectivas especificações.</b>	<b>138</b>

Tabela 3: Automatismos desenvolvidos pela Norcam durante a implementação do PowerMILL no Grupo Simoldes.

Estes automatismos foram desenvolvidos nas linguagens Visual Basic 6, Visual Basic .Net 2005 e VB Script.

O autor desenvolveu, entre outros, o automatismo que permite determinar o perfil máximo da ferramenta. Esta funcionalidade existia no DepoCAM mas não no PowerMILL. Os operadores habituados a utilizar esta ferramenta dificilmente iriam aceitar uma aplicação CAM que não permitisse retirar informações sobre o modo de montagem de ferramenta mais robusta para um dado percurso de maquinagem.

#### 2.4.1 Descrição do desenvolvimento da aplicação “perfil de ferramenta”

Uma ferramenta considerada fundamental por parte do Grupo Simoldes é a ferramenta que permite visualizar o perfil máximo da ferramenta para um dado percurso de maquinagem. Esta função, exclusiva na altura do DepoCAM, permite aos operadores visualizar a geometria máxima permitida ao conjunto ferramenta/suporte sem que haja colisões.

Desta forma, operadores podem em segurança escolher a montagem de ferramenta mais robusta, reduzindo assim as vibrações.

Quando o Grupo Simoldes se apercebeu que o PowerMILL não dispunha desta funcionalidade, exigiram de imediato o desenvolvimento de uma função semelhante, ameaçando a suspensão da segunda fase da implementação do PowerMILL nas fábricas da Ulmolde, Mecamolde e Simoldes Aços.

Como a Delcam já tinha encerrado o caderno de encargos para a próxima versão de PowerMILL, nomeadamente a versão 10, apenas restava o recurso ao desenvolvimento de um automatismo em Visual Basic para ultrapassar esta situação.

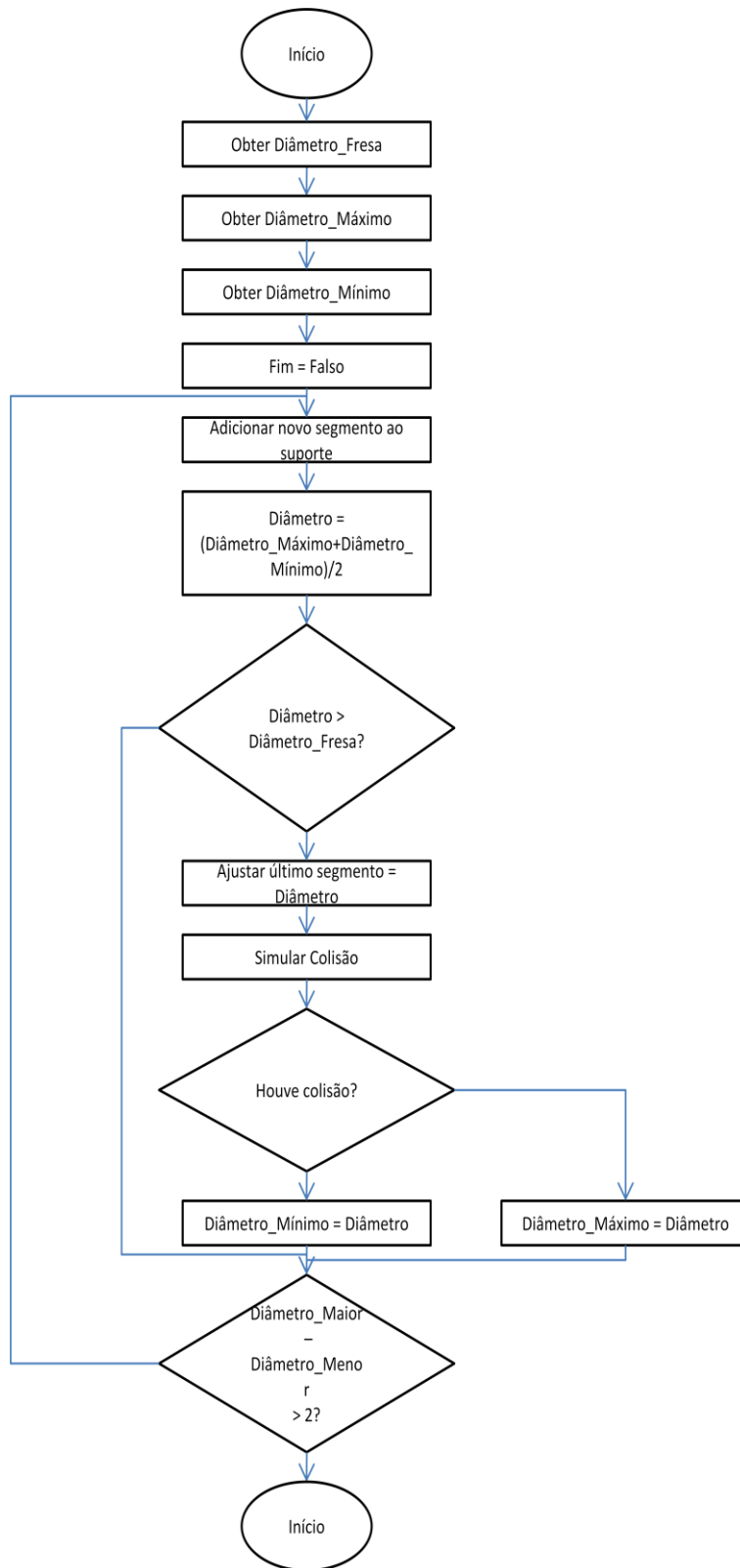
Após um estudo da funcionalidade do DepoCAM nesta matéria, ficou patente o algoritmo por detrás da detecção do perfil máximo da ferramenta: a aplicação CAM, depois de calcular a trajectória da ferramenta, define uma haste e um suporte virtual, composto por uma série de discos. Ao simular a trajectória com esta ferramenta, sempre que se detectar uma colisão de um dos anéis, o seu diâmetro é reduzido até que deixe de existir colisão com o modelo.

Foi então analisado o PowerMILL a fim de descobrir se existia alguma forma de reproduzir um algoritmo semelhante recorrendo ao Visual Basic. De facto, o PowerMILL dispõe de uma funcionalidade de detecção de colisão que permite simular se um conjunto de ferramenta, haste e suporte colide, para um determinado percurso, com o modelo.



Foi então desenvolvido o seguinte algoritmo (ver Fluxograma 1):

- Construir secção por secção o disco com o maior diâmetro possível.
- Para isso, cada secção utiliza o método da bissecção para encontrar o diâmetro que não apresenta colisão.
- Isso é feito sequencialmente para cada secção, sendo a altura de cada secção constante e definida pelo utilizador. Esta altura define a resolução da geometria da ferramenta (erro cordal).
- Para otimizar o processo, utiliza-se o diâmetro anterior como ponto de partida.
- Para cada duas secções de diâmetro igual, eleva-se a altura da secção ao quadrado a fim de extrapolar zonas com diâmetro constante. Ao verificar uma colisão, regressa-se à altura anterior e define-se novamente uma altura inicial da secção.



Fluxograma 1: Algoritmo para implementação do cálculo do perfil da ferramenta.

Esta funcionalidade foi comprovada e, à parte do tempo necessário para realizar o cálculo, produziu exactamente a funcionalidade pretendia no PowerMILL.

O automatismo foi documentado e enviado à Delcam para incorporação interna no PowerMILL, o que oferece, para além de uma melhor interface com o utilizador, um cálculo muito mais acelerado. Efectivamente a Delcam, ao programar este algoritmo internamente no PowerMILL, pode resumir a simulação a partir da última colisão em vez de ter de recalcular a simulação em cada iteração desde o início.

Foi indicado também um mecanismo que permitiria acelerar ainda mais o automatismo: bastaria considerar o ponto da última colisão como ponto inicial para o próximo cálculo, sabendo-se que o percurso anterior estava seguro.

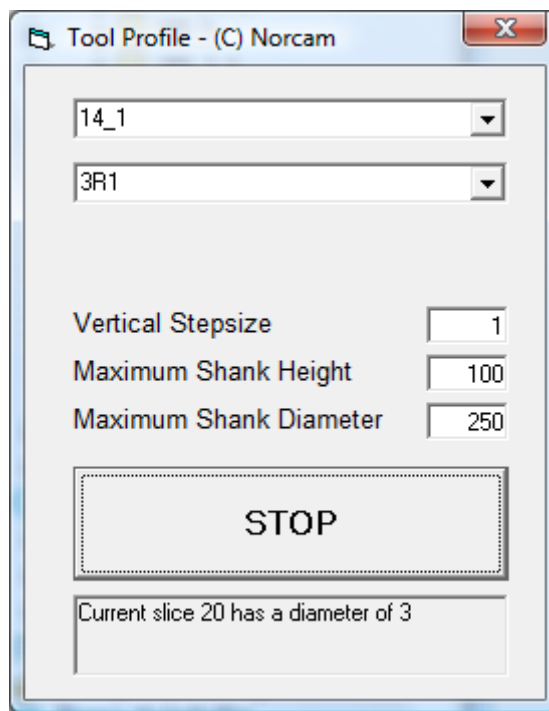


Imagem 1: Aplicação “Tool Profile” desenvolvida.

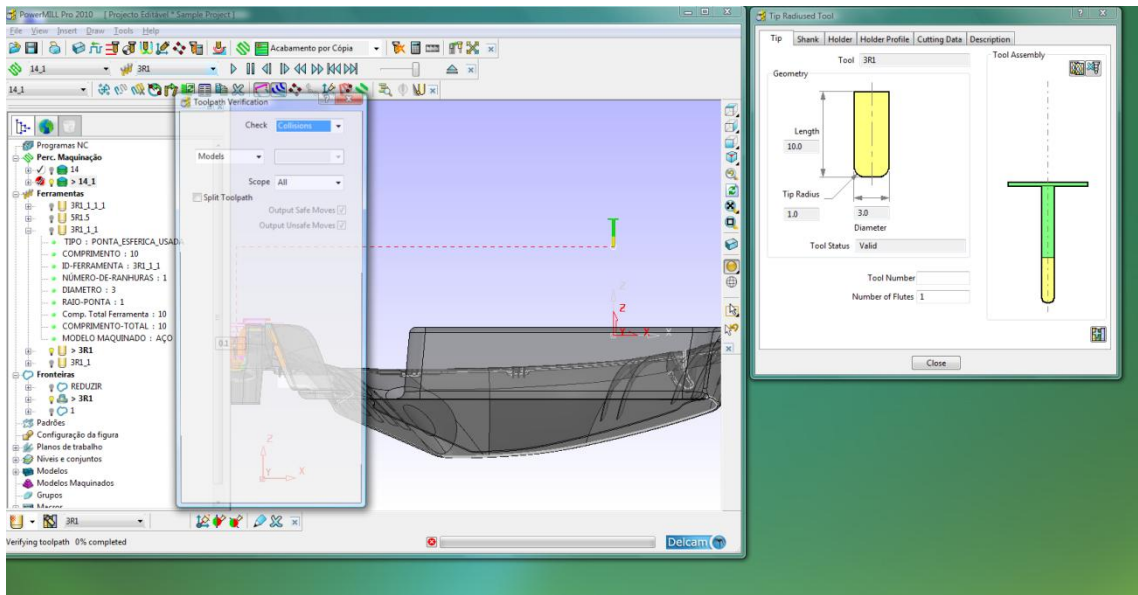


Imagem 2: Aplicação “Tool Profile” em execução.

Esta aplicação e o seu algoritmo foram louvados pela Delcam como sendo a melhor aplicação Visual Basic feita para PowerMILL até à data.

Desde a versão 2010, esta funcionalidade é parte integrante do PowerMILL, tendo sido adaptado o algoritmo pela Delcam. A sua funcionalidade foi alargada, permitindo não só simular um só percurso como também um conjunto de percursos que partilhem a mesma ferramenta.

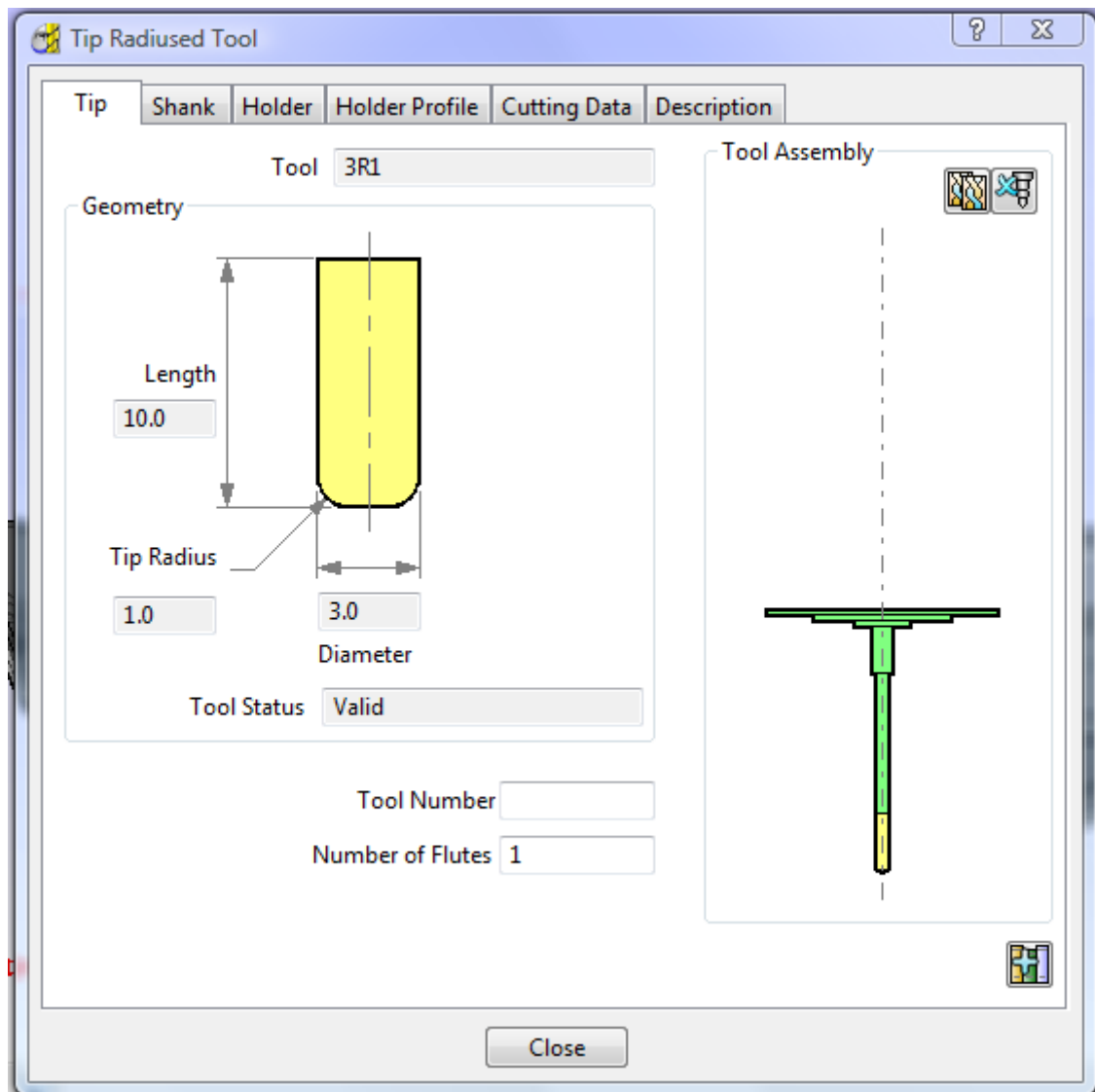


Imagem 3: Funcionalidade de perfil da ferramenta implementada pela Delcam no PowerMILL.

## 2.5 Orientação de estágio subordinado à implementação de “standards de maquinação”

Uma das razões que levaram o Grupo Simoldes a optar pela implementação do PowerMILL foi a substituição de duas aplicações CAM distintas, o WorkNC e o DepoCAM, por uma só aplicação. Esta uniformização permite não só uma melhor avaliação do desempenho dos operadores e das respectivas fábricas do grupo como também a implementação de procedimentos.

Pretende-se a médio e longo prazo estabelecer critérios que definam como determinadas geometrias devem ser maquinadas de forma a obter o melhor

rendimento. Para isso é necessário analisar como os diferentes tipos de moldes são maquinados. Em função do tempo, do desgaste de ferramentas e do nível de acabamento, torna-se possível classificar as abordagens dos diferentes operadores e escolher as melhores estratégias.

Este conhecimento deverá levar à criação de uma base de dados que o Grupo Simoldes designou de “Standards de Maquinação”.

Os parâmetros a ter em conta são:

- Níveis de acabamento (qualidade/crista/rugosidade)
- Caixas: acabamento separado?
- Tempos:
  - Global
  - Por tipo de operação
  - Por grupo de programas específico
  - Por programa
- Quantidade de diferentes idas à máquina por operação (depende do Standard de Maquinação).
- A quais máquinas e fazer o quê.
- Melhor utilização/aproveitamento das ferramentas.

Foi especificado pelo Grupo Simoldes o objectivo por detrás do conceito de Standard de Maquinação:

*O SM (Standard de Maquinação) será usado por todo o grupo para determinado tipo de peça, por exemplo:*

*Painel de porta médio.*

*O cliente dá indicação do nível de qualidade de acabamento pretendido. Este SM define toda a sequência de programas para cada placa, estabelecendo, para cada operação, as estratégias, ferramentas e parâmetros a utilizar. O objectivo é o de torná-lo o mais eficiente possível, sendo passível de melhoramentos contínuos à medida que vai sendo utilizado em novos moldes.*

*A ideia é a seguinte: colocado em determinada pasta um ficheiro, o CAM, a partir do seu nome (por ex: igm256peçacliente-100.igs), automaticamente escolheria o SM adequado e geraria imediatamente ou em processamento de segundo plano os programas que seriam seguros e teriam, esperamos, pelos*

*menos 90% de qualidade sem intervenção do operador. Evidentemente este, a posteriori, poderia/deveria verificar e melhorar os programas. Inclusive poderia gerar programas intermédios. Muito importante a ajuda do CAM nesta fase identificando/alertando automaticamente (com o stock existente) por exemplo zonas de excesso de material em relação à ferramenta utilizada.*

Para poder iniciar a implementação do Standard de Maquinação foram feitas algumas reuniões com os responsáveis pela implementação do PowerMILL e do SM no Grupo Simoldes.

Chegou-se ao entendimento que uma possível implementação poderia passar pelo desenvolvimento de uma aplicação em Visual Basic que poderia gerir e executar macros de PowerMILL.

As macros PowerMILL são sequências de comandos executados em PowerMILL que permitem a reprodução das operações realizadas.

Foi então proposto a um aluno finalista do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais a realização do seu trabalho de Dissertação no Grupo Simoldes com o objectivo de iniciar o desenvolvimento do SM <sup>(7)</sup>:

***Título:*** *Caracterização e optimização dos métodos de maquinagem.*

***Enquadramento:*** *O tema deste trabalho foi proposto pelo Grupo Simoldes, com o objectivo de dar continuidade à implementação do standard de maquinção e optimização dos métodos de maquinção.*

***Objectivos:***

- 1) Descrição dos processos de maquinagem de diversos tipos de moldes.*
- 2) Uniformização da base de dados de ferramentas.*
- 3) Desenvolvimento de automatismos CAM.*

***Descrição:***

*Para desenvolver este trabalho é necessário começar por acompanhar o trabalho de programação CAM dos operadores para assim poder descrever a metodologia de maquinção utilizada. A seguir, as diferentes metodologias devem ser comparadas para então elaborar, em conjunto com os operadores, uma metodologia optimizada a seguir por todos.*

*Relativamente à base de dados de ferramentas, existem neste momento base de dados criadas por operadores diferentes com parametrizações diferentes. Pretende-se definir qual a parametrização a utilizar no Grupo Simoldes, completando-se os parâmetros em falta e uniformizando-se as diferentes bases de dados para as integrar numa só.*

*Finalmente, pretende-se o desenvolvimento de um automatismo para melhorar a redução de raios através de passagens sucessivas.*

Resumidamente, o trabalho do aluno finalista consistiu na análise dos projectos de maquinaria em curso e recentemente executados para um conjunto pequeno de tipos de peças e na discussão, com os respectivos operadores, das estratégias de maquinaria utilizadas para selecção das melhores.

De seguida seriam gravadas macros através da repetição das estratégias de maquinaria consideradas melhores.

Finalmente, uma aplicação em Visual Basic permite a selecção das diferentes macros em função dos parâmetros definidos para o SM (tipo de peça, qualidade de acabamento, etc.).

Este trabalho foi concluído com sucesso e permitiu demonstrar que a implementação de um sistema de Standard de Maquinação não é utópica.

Contudo, permitiu também compreender a elevada resistência que os operadores têm perante um sistema semi-automático de maquinaria pelo que este nível de automatização e uniformização foi suspenso no Grupo Simoldes.



### 3. Conclusão

Foi possível implementar o PowerMILL no Grupo Simoldes. O prazo estimado inicialmente de 12 meses não era realista, tendo o processo demorado 18 meses.

Não foi possível antecipar diversas questões:

- Quantidade elevada de operadores (a trabalhar em 3 turnos);
- Ausência de formadores internos designados pelo grupo Simoldes;
- Elevada expectativa por parte do Grupo Simoldes na extensão da formação e suporte;
- Elevada expectativa por parte do Grupo Simoldes no PowerMILL;
- Problemas técnicos com o PowerMILL
  - Falta de memória para lidar com modelos CAD tão extensos;
  - Falta de memória devido a percursos tão extensos;
  - Falta de memória devido a projectos enormes.
- Necessidade de trabalhar com 4 sessões em paralelo;
- Necessidade de criar pós-processadores otimizados máquina a máquina, em vez de 1 pós-processador por cada tipo de controlador;
- Necessidade de desenvolvimento de inúmeros automatismos para providenciar as mesmas funcionalidades como no WorkNC e DepoCAM.

Depois de concluir o processo de implementação, verificou-se um grau de satisfação superior ao expectável por parte dos operadores.

O PowerMILL é presentemente a única aplicação CAM a ser utilizada em todo o grupo Simoldes permitindo assim uma melhor disseminação dos conhecimentos dos operadores, por exemplo através da permuta dos mesmos entre empresas distintas do mesmo grupo.

Este projecto foi o maior trabalho realizado até à data pela Norcam e foi o maior desafio pessoal a todos os níveis:

- Técnico: foi necessário adquirir imensos conhecimentos sobre o PowerMILL, maquinagem, procedimentos na indústria de moldes, programação, etc.
- Gestão de cliente: foi necessário reunir com os representantes do Grupo Simoldes, num ambiente de elevada tensão, e actuar como mediador perante a Delcam, a fim de conseguir encontrar respostas aos diversos problemas

- Gestão interpessoal: foi necessário compreender as necessidades dos operadores das diversas fábricas do Grupo Simoldes e abrir caminho a uma melhor comunicação entre eles

Olhando hoje para este projecto, é surpreendente o quanto ambicioso foi e mais surpreendente foi a capacidade humana de superar todas as dificuldades com esforço e trabalho. Foi sem dúvida uma grande lição e uma importante experiência profissional, muito enriquecedora nas mais diferentes áreas.

Resta referir que esta experiência irá reflectir-se positivamente nos textos de apoio das disciplinas de Engenharia Assistida por Computador <sup>(8)</sup> e Computação e Programação <sup>(9)</sup>, do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e Materiais da FEUP, asseguradas pelo autor desta dissertação.

## 4. Anexos

### 4.1 Referências Bibliográficas

1. <http://www.delcam.com>
2. <http://www.norcam.pt>
3. <http://www.simoldes.com>
4. Manuais de PowerMILL, PowerSHAPE e DuctPost, disponíveis sobre consulta à Norcam
5. Manuais dos controladores Fidia e Heidenhain, fornecidos com as respectivas máquinas (<http://www.fidia.it> e <http://www.heidenhain.de>)
6. “Controlo Numérico Computorizado” por Carlos Relvas, Publindústria, ISBN: 9789729579462
7. Tese de mestrado de Sérgio Capitão com o título “Caracterização e optimização dos métodos de maquinação”
8. Texto de apoio da disciplina “Engenharia Assistida por Computador” do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica da FEUP, por Vitor Martins Augusto
9. Texto de apoio da disciplina “Computação e Programação” do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica da FEUP, por Vitor Martins Augusto

## 4.2 Código Visual Basic do automatismo “Perfil da Ferramenta”

```
*****
'*
'* Tool Profile Calculation
'*
'* (C)2008 - Norcam - Engenharia e Design Industrial, Lda.
'* Author: Vitor Martins-Augusto
'*
'* This requires PowerMILL v8.
'*
*****

Private Sub Combo2_Click()
    fresa = Combo2.List(Combo2.ListIndex)
    PM.Connect
    result = PM.ExecuteEx("ACTIVATE TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34))
    diametro_fresa = Val(PM.ExecuteEx("print par terse " + Chr(34) + "Tool.Diameter" + Chr(34)))
    PM.Disconnect
    Text4.Text = LTrim(Str(diametro_fresa))
End Sub

Private Sub Command1_Click()
    If Command1.Caption = "START" Then
        '
        ' Início do cálculo do perfil da ferramenta
        '
        ' Ler opções seleccionadas pelo utilizador
        Command1.Caption = "STOP"
        percurso = Combo1.List(Combo1.ListIndex)
        fresa = Combo2.List(Combo2.ListIndex)
        altura_anel = Val(Text1.Text)
        numero_aneis = Int(Val(Text2.Text) / Val(Text1.Text))
        diametro_maximo = Val(Text3.Text) + 1
        diametro_fresa = Val(Text4.Text)
        altura_maxima = Val(Text2.Text) + 2

        If percurso = "" Or fresa = "" Or altura_anel <= 0 Or altura_anel > 20 Or altura_maxima < 1 Or
diametro_maximo > 255 Then
            MsgBox "Please choose valid settings for tool profile calculation!", vbCritical, "Tool
Profile"
            Exit Sub
        End If

        safe = False

        '
        ' Configurações diversas: apagar shank e holder existentes, determinar diâmetro da ferramenta,
criar o primeiro anel
        '
        PM.Connect
        result = PM.ExecuteEx("Dialogs Message Off")
        result = PM.ExecuteEx("ACTIVATE TOOLPATH " + Chr(34) + percurso + Chr(34))
        result = PM.ExecuteEx("ACTIVATE TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34))
        result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + "SHANK_CLEAR")
        result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + "HOLDER_CLEAR")
        result = PM.ExecuteEx("FORM TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34))
        result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT ADD")
        result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT UPPERDIA " +
Str(diametro_fresa))
        result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT LOWERDIA " +
Str(diametro_fresa))
        result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT LENGTH " +
Str(altura_anel))
        valor_maior = diametro_maximo
        adicao = altura_anel
        diametro_velho = 0
        n = 0
        altura_actual = 0

        '
        ' Ciclo 1 - Adicionar um novo anel
        '
    End If
End Sub
```

```

While altura_maxima >= altura_actual And diametro < diametro_maximo - 1
  n = n + 1
  aumentar = False
  valor_maior = diametro_maximo ' diâmetro da árvore
  valor_menor = diametro_fresa ' diâmetro da fresa

  '
  ' Ciclo 2 - determinar diametro - metodo de biseccão
  '
  ok = False
  While ok = False
    DoEvents
    colisao = False
    diametro = Int((valor_maior + valor_menor) / 2) ' diametro a testar esta no meio do
intervalo
    Label4.Caption = "Current slice" + Str(n) + " has a diameter of" + Str(diametro)
    DoEvents
    '
    ' Testar se o diâmetro presente tem colisão
    '
    If Int(diametro) > Int(diametro_velho) And diametro > diametro_fresa Then ' preparar
para simular, se o diâmetro a testar é superior ao anterior e ao da fresa
      result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT "
+ Str(n))
      result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT
UPPERDIA " + Str(diametro))
      result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT
LOWERDIA " + Str(diametro))
      result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT
LENGTH " + Str(altura_anel))
      result = PM.ExecuteEx("Form COLLISION")
      result = PM.ExecuteEx("EDIT COLLISION SPLIT TOOLPATH N")
      result = PM.ExecuteEx("EDIT COLLISION DEPTH N")
      result = PM.ExecuteEx("UNDRAW COLLISION")
      result = PM.ExecuteEx("EDIT COLLISION USE_TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34))
      result = PM.ExecuteEx("EDIT COLLISION APPLY")
      If InStr(result, "Information: Collisions were found") > 0 Or InStr(result,
"Informação: Colisões foram encontradas") > 0 Then ' testar se houve colisão
        colisao = True
      End If
    End If
    '
    ' Fim do teste de colisão
    '
    '
    ' Determinar novo intervalo - método da biseccão
    '
    If colisao = True Then ' houve colisao, por isso o intervalo maior passa a ser o
diâmetro testado
      valor_maior = diametro
    Else
      valor_menor = diametro ' não houve colisao, por isso vamos aumentar o diâmetro menor
para o diâmetro testado
      If valor_maior - valor_menor < 2 Then
        ' no caso do intervalo ser menor que 2mm, consideramos que a optimização está
suficientemente boa e saímos
          ok = True
          aumentar = False
          If diametro = diametro_velho Then
            ' no caso do diâmetro determinado ser igual ao anterior, vamos assinalar que queremos
aumentar o anel anterior,
            ' em vez de manter este
              aumentar = True
            End If
          End If
        End If
      result = PM.ExecuteEx("COLLISION ACCEPT")
      DoEvents
      '
      ' Fim da terminação de novo intervalo
      '
    End If
  End While
  '
  ' Fim do Ciclo 2
  '

```

```

'
' Optimização: juntar aneis com diâmetros iguais
'
If aumentar = True Then ' Testar se é para aumentar e, se sim, remover o anel actual e
aumentar a altura do anel anterior
    adicao = adicao + altura_anel
    result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT
REMOVE")
    result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT
LENGTH " + Str(adicao))
Else ' Senão definir outra vez o incremento da altura de anel para o valor de partida
    adicao = altura_anel
End If
altura_actual = altura_actual + altura_anel
Debug.Print n, altura_actual, adicao, altura_anel

'
' Fim da optimização
'

'
' Aumentar o incremento
'
If diametro_velho = diametro Then
    altura_anel = Val(Text1.Text) * 2
Else
    result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT
LENGTH " + Str(altura_anel / 2))
    altura_anel = Val(Text1.Text)
End If
'
' Fim do aumento do incremento
'

'
' Criar novo anel
'
result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT ADD")
result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT " +
Str(n)
" + Str(diametro))
result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT UPPERDIA
" + Str(diametro))
result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT LENGTH "
+ Str(altura_anel))
'
' Fim da criação de novo anel
'

'
' Actualizar diâmetro anterior
diametro_velho = diametro
Wend
result = PM.ExecuteEx("EDIT TOOL " + Chr(34) + fresa + Chr(34) + " SHANK_COMPONENT REMOVE")
'
' Fim do Ciclo 1
'

Else
'
' Utilizador interrompeu o cálculo
'

DoEvents
Label4.Caption = ""
DoEvents
End If
Command1.Caption = "START"
result = PM.ExecuteEx("Dialogs Message On")
PM.Disconnect
End Sub

Private Sub Form_Load()
' Read existing toolpaths from PowerMILL
PM.Connect
fresas = PM.ExecuteEx("Print Entity Toolpath")

```

```

numero_fresas = Val(fresas)
fresas = Mid(fresas, InStr(fresas, vbCrLf) + 2)
For n = 1 To numero_fresas
    ferramenta = LTrim(Left(fresas, InStr(fresas, vbCrLf) + 2))
    ferramenta = RTrim(ferramenta)
    If Left(ferramenta, 2) = "* " Then ferramenta = Mid(ferramenta, 3)
    ferramenta = Mid(ferramenta, 2)
    ferramenta = Left(ferramenta, Len(ferramenta) - 3)
    fresas = Mid(fresas, InStr(fresas, vbCrLf) + 2)
    If Right(ferramenta, 1) = "" Then

        ferramenta = Left(ferramenta, Len(ferramenta) - 1)

    End If
    Combo1.AddItem ferramenta
Next n
' read existing tools from PowerMILL
fresas = PM.ExecuteEx("Print Entity Tool")
numero_fresas = Val(fresas)
fresas = Mid(fresas, InStr(fresas, vbCrLf) + 2)
For n = 1 To numero_fresas
    ferramenta = LTrim(Left(fresas, InStr(fresas, vbCrLf) + 2))
    ferramenta = RTrim(ferramenta)
    If Left(ferramenta, 2) = "* " Then ferramenta = Mid(ferramenta, 3)
    ferramenta = Mid(ferramenta, 2)
    ferramenta = Left(ferramenta, Len(ferramenta) - 3)
    fresas = Mid(fresas, InStr(fresas, vbCrLf) + 2)
    If Right(ferramenta, 1) = "" Then

        ferramenta = Left(ferramenta, Len(ferramenta) - 1)

    End If
    Combo2.AddItem ferramenta
Next n
PM.Disconnect
End Sub

Private Sub Form_Terminate()
    PM.Disconnect
End Sub

```