



Projeto

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

***Desenvolvimento de uma Base de Conhecimento
(KDB) de Apoio a Processos de Maquinagem***

Alexandre Miguel Frazão Ferreira

Leiria, setembro de 2015



Projecto

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

***Desenvolvimento de uma Base de Conhecimento
(KDB) de Apoio a Processos de Maquinagem***

Alexandre Miguel Frazão Ferreira

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Joel Oliveira Correia Vasco Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e co-orientação da Doutora Maria Leopoldina Mendes Ribeiro de Sousa Alves, Professora da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, setembro de 2015

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Aos Professores Prof. Dr. Joel Vasco e Prof. Dr.^a Maria Leopoldina Alves pela orientação, disponibilidade e incentivo para a conclusão deste trabalho.

À chefia, colaboradores afetos à fabricação e colegas da empresa onde se desenvolveu o projeto, pelo apoio e disponibilidade prestada sempre que solicitado.

Aos técnicos comerciais das empresas Hitachi Portugal e Hexatool pela disponibilidade na troca de conhecimento relativo aos processos de maquinagem.

A todos os amigos e colegas que de alguma forma deram o seu contributo para a realização de trabalho.

À minha família, Pai, Mãe e Irmão, pelo constante apoio, ajuda e amor incondicional.

À Celina pela partilha, dedicação e apoio, ocupando um lugar único na minha vida.

Resumo

A otimização dos processos de corte por arranque de apara é uma temática largamente estudada e abordada de diversas formas. O presente trabalho aborda esta problemática do ponto de vista de uma PME de produção de moldes para a indústria de plásticos com mais de 25 anos de atividades.

A resolução mais adequada foi a criação de uma base de conhecimento (*KDB – Knowledge Database*) para assistir à tomada de decisão em relação à definição dos parâmetros de corte a serem utilizados pelos programadores CAM durante a geração dos processos de maquinagem. Cada registo introduzido na base de dados que serve a aplicação consiste na descrição das características de determinado trabalho e respetivos parâmetros utilizados na maquinagem, aos primeiros pode chamar-se “elementos de implementação” e aos segundos “elementos de processo”. Os formulários de interface da aplicação criados permitem, de forma geral, uma consulta, inserção, e correção de registos de forma independente e simples. A inserção e correção de registos passa a definitiva apenas após a aprovação do gestor do sistema (que estuda em conjunto com o utilizador o novo registo em questão).

A população da base de dados com novos registos é da responsabilidade não só dos utilizadores especialistas nesta área, como também do responsável de projeto que tem de ter uma atitude proactiva na pesquisa e averiguação das melhores condições de corte e confrontar esta informação com os registos que vão sendo inseridos, acrescentando ele também novos registos, que constituem as boas-práticas de maquinagem da empresa.

Para encontrar melhores elementos de processo (ferramentas e grandezas de corte, máquina CNC, estratégias CAM, fluido de corte e sistema de fixação) para os trabalhos de maquinagem cujas características se repetem mais frequentemente (conjugação de determinados elementos de implementação), são efetuados testes de maquinagem na fabricação, nos quais são comparados desempenhos de acordo com os objetivos de custo mínimo de produção e máxima qualidade de superfície. Os testes são feitos no decorrer normal da fabricação das peças, pelo que permite apenas comparar performances de certas combinações, e se for caso disso registá-las na *KDB* para serem resgatadas e reutilizadas sempre que essas características de repitam. A escolha, feita pelo gestor, das novas ferramentas e parâmetros de corte a testar, assenta na investigação cálculos e estudo prévio levado a cabo para cada caso. Se este considerar que as condições estudadas têm boas hipóteses de melhorar determinado trabalho de maquinagem propõe o teste.

Na revisão bibliográfica é abordada a problemática da otimização dos processos de corte, generalidades básicas do processo e, finalmente, quais as vantagens da utilização de uma *KDB* da forma como foi aplicada em processos de melhoria de maquinagem, justificando assim a presente escolha em relação às restantes metodologias de otimização, de acordo com as características da empresa.

Abstract

The optimization of machining processes is a highly active trend in modern manufactory industries. This paper presents the development of an optimization methodology base on the implementation of a knowledge-based system to preserve the machinist know-how so it can be implemented in similar situations. This system main goal is helping the selection of cutting tools and conditions for the machining processes from a mould making SME (small medium enterprise) point of view. This optimization methodology was selected amongst others addressed throughout the initial section of this paper.

In order to assist the machinist and CAM programmers generating the toolpath programs, the system contains a knowledge data-base, an inference engine and a user interface. Each individual record contained in the database as all information regarding each machining process, namely the machining conditions (or implementation elements – material, machine, main objective, etc.) and the machining parameters (or process elements-cutting parameters, cutting fluid, cutter diameter, etc.).

This database containing the additional comment obtained by machining experts plus any other details, images or documents that help the future retrieving of this machining information that represents what is called, in this project, as machining knowledge.

In other to populate the (KDB - knowledge data-base) users can, independently, use the created user form to insert a new record or contact the KDB manager to do so. The manager can insert new record himself based on a careful investigation and inference. Before inserting any new record it as to be confronted to others already in the system referring to equivalent cutting conditions, that can be done by testing the machining parameters in a real production process were some nuclear indicator are compared, like the cutting tool live time and the MMR (material removal rate). The manager as the responsibility to assure only the machining best-practices are to be published in the KDB.

The described system grows in optimization potential with the number of best-practices (records) added and improved by all machining related personal in the company. That can only be effective as an optimization process if those workers resort the system to search and reuse the machining best-practices recorded in the past and, if that's the case, improve those records.

Key Words: Metal Machining, Knowledge data-base, Machining Optimisation

Índice de Figuras

Figura 1- Procura internacional de máquinas de ferramentas, 1978-88, Ebn Eurostat.[4]	3
Figura 2 – Andamento dos índices de produção e preços de exportação para produtos metalomecânicos na europa. [16]	4
Figura 3 - Fabrico de maquinaria e equipamento (<i>NACE Division 29</i>) Evolução dos indicadores chave,UE-27 (2000=100). [17].....	4
Figura 4 - Classificação geral dos processos de corte. [8]	9
Figura 5 - Exemplos de processo de corte por arranque de aparas. [3]	9
Figura 6 - Aspectos gerais da maquinagem. [8]	10
Figura 7 - Parâmetros de corte. [50]	12
Figura 8 - Mecanismo de formação da aparas. (Adaptação de [4]).	13
Figura 9 - Componentes da força de corte [4]	14
Figura 10 - Corte ortogonal e corte oblíquo. (adaptado de [15]) Esquerda – Corte ortogonal; Direita – Corte oblíquo.....	14
Figura 11 - Corte ortogonal. [18].....	15
Figura 12 - Zonas de interação Primária secundária e terciária [18]	16
Figura 13 - Cálculo do grau de encalque (R_c).	16
Figura 14 - Circulo de forças de Merchant. [18].....	17
Figura 15 - Macro maquinagem (esquerda) e micro maquinagem (direita).[31]	19
Figura 16 - Impacto da alteração da velocidade de corte [m/s] nos diferentes componentes da potência de corte. [4].....	20
Figura 17 - (a) Passagem de paralelas ou por cópia; (b) Cópia com referencial radial. [41].....	22
Figura 18 – Estratégia de maquinagem por planos (Z-level ou por cotas) por contorno (a) e por desbaste geral (b). [42]	22
Figura 19 – (a) Contorno 3D em espiral; (b) Maquinagem 3+2 eixos. [42]	23
Figura 20 - Processamento de informação baseada em <i>features</i> . [2]	24
Figura 21 - Processamento de informação relativa a características geométricas. [2]	24
Figura 22 – Operações típicas da produção de peças por maquinagem. [4]	26
Figura 23 -Utilização da KDB no processo de planeamento global da produção de peças. [2] ..	27
Figura 24 - Utilização da KB no processo de planeamento local. [2]	27
Figura 25 – Tipos de geometria da aresta de corte. [50] <i>SECO Tools</i>	29
Figura 26 – Exemplo de parâmetros constituintes da ISO 13399. [42].....	30
Figura 27 – Exemplo de nomenclatura retirado de uma das normas (<i>Single row, rounded end mil</i>). [42]	30
Figura 28 - (a) Revestimento CVD de várias camadas. (b) Revestimento PVD de uma única camada. [43].....	31
Figura 29 - Tipos de revestimentos de ferramentas de corte. [43]	32
Figura 30 - Vista em corte de ferramentas de carbonetos a cortarem aço ao carbono. [42]	34
Figura 31 - Problemas e soluções relacionados com a vida útil das ferramentas de corte. [50] Seco Tools.....	34
Figura 32 - (a) Desgaste da aresta de corte em função do percurso da ferramenta . (b) Desgaste da aresta de corte em função da velocidade de corte. Desgaste mais típico (<i>Edge Wear</i>) [4] ..	35
Figura 33 - Relação entre fatores de custo de maquinagem, custo de maquinagem e produtividade e eficiência. P_r -Produtividade; C-Custo de maquinagem (C_m -Custo máquina, C_t –	

Custo Ferramenta/aresta de corte) ; V_c -Velocidade de Corte; V_{ce} -Velocidade de corte económica1; V_{cp} -Velocidade de corte económica2. [13].....	37
Figura 34 - Diagrama bidimensional de representação de restrições; m- máquina; T-ferramenta de corte; W-peça. [3]	38
Figura 35 - Efeito da velocidade de corte e avanço linear na rugosidade de superfície com $d=0.75\text{mm}$. [26].....	39
Figura 36 - Efeito da profundidade de corte (a_p) e da velocidade de avanço na rugosidade superficial com velocidade de corte (V_c)= 180m/s . [26]	39
Figura 37 - Fábrica do futuro (<i>Factory of the Future</i>) com um sistema computacional de produção integrado CIM (<i>computer integrated manufacturing</i>). [8].....	41
Figura 38 - "Fuzificação" da informação, atribuição de um valor de (afinidade) de 0 a 1 a cada termo linguístico.	42
Figura 39 – Exemplo de modelo previsto para a velocidade de corte no aço ao carbono com 1mm de (a_p) pelo método baseado na teoria Fuzzy. [3]	42
Figura 40 - Esquema de um sistema de optimização de maquinaria que integra a teoria Fuzzy para a criação de processo de maquinaria de torneamento. [3].....	43
Figura 41 -Maquinagem inteligente: Controlador adaptativo com entradas de sinais de Temperatura Vibração e Força. [12]	45
Figura 42 - Esquema de uma rede alimentação de um sentido. [4]	46
Figura 43 --Redes de propagação em vários sentidos.[4]	46
Figura 44 - Exemplo de otimização da velocidade de avanço através de um algoritmo “neuro Fuzzy”- Aplicação de um sistema ANFIS à maquinaria. [28]	48
Figura 45 - Sistema inteligente de fabrico por maquinaria robotizado (<i>Knowledge base systems for machining operations</i>) .[8]	49
Figura 46 - Elementos de uma típica KB, utilização de um sistema KM e KBSs [80]......	51
Figura 47 - Modelo geral da aquisição e processamento do conhecimento [8]......	52
Figura 48 - Buffer local onde a informação é armazenada antes de ser verificada. [29]	53
Figura 49 - Gestão do conhecimento e de boas práticas (<i>Best Practice Methodology</i>). [30].....	54
Figura 50 - Exemplo de esquematização de metodologia para identificar e armazenar conhecimento boas práticas. [30].....	55
Figura 51 - Identificação e formulação d e uma boa prática. [30]	56
Figura 52 - Classificação de elementos de boas práticas. [93].....	57
Figura 53 - Áreas típicas dum sistema de incentivo ao conhecimento [93]	58
Figura 54 - Atividades típicas nas tarefas de gestão de uma <i>Knowledge Database</i> neste caso de exemplo para um sistema de NPD (<i>New Product Development</i>). [93]	59
Figura 55 - Esquema das grandezas a especificar na descrição completa de uma fresa.	69
Figura 56 – Referência interna = “Artigo” do tipo “FR” (fresa inteiriça) do fornecedor referenciado pelas letras “Hi”; com a numeração interna “CP0600” , que pressupõe o local de arrumação, um diâmetro de 6mm, topo esférico e comprimento de respiga de pequeno a médio (menor que 10x o diâmetro).	69
Figura 57 - Caixa de diálogo a preencher para cada retirada de ferramentas de corte do Stock.	70
Figura 58 - Relatório de maquinaria elaborado para cada teste de comparação de ferramentas/parâmetros de corte.	73
Figura 59 - organização da informação na recolha inicial.....	74
Figura 60 - Caixa de diálogo para relatório de erros.....	75
Figura 61 - Altura típica no processo de geração de procedimento CAM em que o programador consulta a KDB. Adaptado de [27]	80

Figura 62 - Menu principal.	81
Figura 63 – Pág. 1 do menu de pesquisa.....	82
Figura 64 - Páginas restantes do menu de Consulta de inserção de opções	82
Figura 65 - Última página do menu de procura a apresentar já o resultado da consulta final. .	82
Figura 66 - Página quatro onde são selecionadas as opções de estabilidade, que irão afetar a velocidade de avanço e rotação.....	83
Figura 67 - Botão da procura de registos.....	84
Figura 68 - Botão da procura de elementos de processo (parâmetros de corte).....	84
Figura 69 - Alternativas de ferramenta adequadas.	84
Figura 70 - Registos encontrados.	84
Figura 71 - Botão de alerta, permite ao utilizador sugerir alteração dos elementos de processo.	85
Figura 72 - Última página do menu de procura com o menu de Alertas visível.	85
Figura 73 - Funções de "Mostrar Comentários", apresentar "Testes realizados" e "Ver imagens".	85
Figura 74 - Apresentação da página 2, caso na página 1 se tenha optado por "ferramentas de furação".....	86
Figura 75 - Formulário de consulta opção número 2 "Procura Ferramentas existentes"	86
Figura 76 - Resultado apresentado para a consulta através do formulário 2.....	87
Figura 77 - Formulário de "Alerta para parâmetros de corte incorretos" acedido por formulário de procura 2.	87
Figura 78 - Acrescentar figuras associadas ao registo.	88
Figura 79 - Formulário de Novo registo página 5.....	89
Figura 80 - Caixa de confirmação da gravação do novo registo com toda a informação inserida.	90
Figura 81 - Página de consulta de registo individual, pedido de palavra passe.....	91
Figura 82- Algoritmo geral da procura de registos.	92
Figura 83 – Representação esquemática dos chamados <i>computerised optimisation systems</i> [3].	93
Figura 84 - Esquema da tomada de decisão em relação à utilização de uma nova ferramenta.	94
Figura 85 - Caixa de diálogo que surge quando ocorre um erro.....	96
Figura 86 - Comparação de custos operacionais entre os três testes efetuados;	98
Figura 87 - Secções gerais de um sistema CIM típico. [8]	102
Figura 88 – Sistema integrado CIM (<i>Computer Intelligent Machining</i>) [8]	103
Figura 89 - Representação gráfica do espaço temporal produção (comparação).....	114

Índice de tabelas

Tabela 1 - Características dos revestimentos das ferramentas de corte. [43].....	32
Tabela 2 - Elementos de implementação da maquinagem.....	76
Tabela 3 - Elementos de processo da maquinagem	76
Tabela 4 - Grupos de materiais considerados inicialmente, divisão efetuada por dureza.	77
Tabela 5 - Tabelas de dados na DAO DB construída para o sistema.....	79
Tabela 6 - Dados inseridos para a consulta de exemplo.....	83
Tabela 7 - Comparação do resultado dos testes efetuados.....	98

Lista de Siglas

A_c : Área de separação

P_c : Potência de corte

P_{ch} : Potência associada à formação de novas superfícies de corte

P_{fF} : Potência resultante da interação da ferramenta de corte com o material base

P_{fR} : Potência consumida na interação da ferramenta de corte com a apra

P_{pd} : Potência despendida na deformação plástica da camada

τ_y : Tensão de cedência do material

μ : ângulo entre F e N ou ângulo de atrito

3D : Geometria tridimensional livre

ACC: Adaptive Control Constraint

ACO: Adaptive Control Optimization

b_w ; b ; h : Largura da apra por cortar

b_{w1} : Largura da apra cortada

CAD: Compute Aided Design

CAE: Computer Aided Engineering

CAM: Computer Aided Manufacturing

CAPP: Computer Aided Process Planning

CBN : Cubic Boron Nitride

CIM : Computer intelligent Machining

C_m : Custo-máquina,

CNC: Computer Numerical Control

COS : Computer Optimization System

C_t : Custo da Ferramenta por aresta de corte

CVD : Chemical Vapour Deposition)

DAO DB : Data Access Object Database

DB : Data Base

ERP: Enterprise Requirement Planning

F : Força tangencial da superfície de contacto entre a apra e a ferramenta de corte

F_c : força ao longo da direção do movimento da ferramenta

FEA : Finite Element Analyses

F_m : Força de maquinagem

F_n : Força normal ao plano de corte

F_s : *Shearing force*

f_z ; f : Avanço por Dente

GAC: Geometric Adaptive Control

HSS : High Speed Steel

ISO : International Organization for Standardization

KB : Knowledge Base

KBS: knowledge-based systems

KDB: Knowledge Data Base

KPIs : Key Performance Indicators

L : Comprimento total do percurso da ferramenta

LAN : Local Area Network

N : Força Normal

n: Velocidade de rotação

NPD : New Product Development

OKP: One-of-a-kind-Product

ϕ : ângulo de corte ou angulo de separação

p_a ; a_e : Avanço Radial

PDM: Product Data Management

PME: Pequena e Média Empresa)

p_r ; a_p ; d : Avanço Axial

PVD : Physical Vapour Deposition

R : Força total ou resultante

R_c : Grau de recalque

SMART :Smart Assistant to Machinist

SSM : Sculptured Surface Machining

STEP NC: Standard for Exchange of Product model data for Numerical Control operations

t_1 ; h ; h' : Espessura da apara cortada

t_2 : Espessura da apara cortada

TMP : Total Machining Performance

TQC: in the shortest **T**ime, with the highest **Q**uality, and the minimum **C**ost

TRM ou MRR: Taxa de remoção de material

UMOs : Unit Machining Operations)

VAC: Vibration Adaptive Control

VBA : Visual Basic for Applications

V_c ; V: Velocidade de corte

V_{ce} : Velocidade de corte económica min. custo

V_{cp} : Velocidade de corte económica máx. produção

v_f : Velocidade de Avanço

WC : Work Piece

WP: Work Piece

Z : Número de arestas em corte ou navalhas

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	ii
Abstract	iii
Índice de Figuras	iv
Índice de tabelas	vii
Lista de Siglas	viii
Índice	xi
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	3
1.1.1 Mercado	3
1.1.2 Indústria de Moldes	4
1.2 Oportunidades	5
1.3 Limitações	5
1.4 Motivação.....	6
1.5 Estrutura do trabalho	7
2. Estado da Arte/conhecimento	9
2.1 Maquinagem – Generalidades	9
2.1.1 Parâmetros de Corte	10
2.1.2 Mecanismos de formação da apara	12
2.1.3 Mecânica do processo de corte (forças de corte).....	13
2.1.4 Forças de corte (análise ortogonal).....	16
2.1.5 Medição da força de corte por métodos experimentais	18
2.1.6 Forças na Micro Fabricação.....	18
2.1.7 Metodologia utilizada para o cálculo da Força de Maquinagem	19
2.1.8 Influência da V_c , a_p e F na Decomposição da potência.	20
2.1.9 FEA -Análise de Elementos Finitos no Corte por Arranque Apara	20
2.2 Maquinagem de Superfícies Esculpidas (SSM).....	21
2.2.1 Programação assistida por computador (CAM)	21
2.2.2 Softwares para Maquinagem (CAM).....	23
2.2.3 Planeamento do processo de maquinagem de uma superfície esculpida.....	26
2.3 Ferramentas de Corte	28
2.3.1 Geometria das ferramentas de corte.....	28
2.3.2 Nomenclatura das ferramentas de corte	28

2.3.3 Materiais e revestimentos	30
2.3.4 Desgaste das Ferramentas de Corte	34
2.4 Otimização dos Processos de Corte	36
2.4.1 Programação linear LPM (Linear Programming Method)	38
2.4.2 Programação não linear	39
2.4.3 Métodos baseados em Inteligência Artificial	40
2.4.4 Sistemas inteligentes de Controlo adaptativo (<i>Adaptative Control Systems</i>).	44
2.5 Bases de Conhecimento (para a Maquinagem)	49
2.5.1 Constituição de um sistema apoiado numa KDB	50
2.5.2 Abrangência da Utilização de uma KDB	53
2.5.3 Construção de uma Base de conhecimento.....	54
2.5.4 Metodologia proposta para a criação de uma KDB	55
2.5.5 Metodologia utilizada na criação da KDB.....	60
3. Solução encontrada.....	63
3.1 Escolha da vertente de otimização	64
3.1.1 Nível de Otimização.....	64
3.1.2 Aspectos adicionais de otimização	65
3.1.3 Aspectos relacionadas diretamente com a escolha da ferramenta.	66
3.2 Plataforma funcional criada para suporte e organização dos recursos e informação (adicional à KDB)	68
3.2.1 Criação de um sistema de nomenclatura de ferramentas.....	68
3.2.2 Criação de um sistema de recolha de informação	70
3.2.3 Relatório de comparação do desempenho de ferramentas de corte.....	71
3.3 Inquérito e recolha de informação inicial	74
3.3.1 <i>Layout</i> utilizado na recolha.	74
3.4 Estrutura da informação, Organização do conhecimento na base de dados	75
3.4.1 Organização do conhecimento de processos de maquinagem	75
3.4.2 Formatação para a reutilização.....	76
3.4.3 Restrições automáticas aplicadas aos registos	78
3.5 Arquitetura da <i>KDB</i>	78
3.5.1 Estrutura da <i>KDB</i> e Programação VBA	78
3.6 Funcionalidades e menus de interfaces	79
3.6.1 Ferramenta de procura através das características do trabalho.	81
3.6.2 Ferramenta de procura através da listagem de ferramentas existentes.....	86
3.6.3 Introdução de novo registo	88
3.6.4 Consulta e controlo de registos e contribuições pessoais.	90

3.6.5 Algoritmos relevantes no funcionamento da Aplicação	91
3.7 Solução encontrada para a atribuição da ferramenta	93
3.8 Gestão e manutenção da KDB.....	95
3.9 Promoção e incentivo à utilização da KDB	96
4. Discussão de resultados	97
5. Conclusões.....	99
6. Trabalho Futuro.....	101
Bibliografia	104
Anexos	109

1. Introdução

O processo de corte por arranque de aparas é o processo de produção de peças em metal mais disseminado na indústria metalo-mecânica e no fabrico de componentes [5]. Este é o processo nuclear de vários sectores centrais impulsionadores da economia global como é o caso da indústria automóvel, eletrodomésticos, aeroespacial, naval, de moldes, equipamentos de desporto e brinquedos. M.E. Merchant referia em 1995 *"Today in industrialized countries, the cost of machining amounts to more than 15% of the value of all manufactured products in those countries."* Esta afirmação não podia estar mais atual, ou seja, a importância da maquinagem por corte por arranque de aparas como parte integrante da ciência e tecnologia da produção é crescente de dia para dia [8].

Os esforços e abordagens levados a cabo a nível científico e industrial para melhorar a performance deste processo são, portanto, compreensíveis. Qualquer melhoria conseguida nesse âmbito traz rapidamente retorno num número infindável de aplicações.

A melhoria do desempenho em processos de maquinagem pode seguir diversas formas de otimização. As funções objetivo do processo de otimização cumprem metas de máxima produtividade, mínimo custo, máximo lucro ou máxima vida da ferramenta. Processos que podem ser investigados por intermédio da aplicação de metodologias de programação linear de um objetivo ou múltiplos objetivos [2]. Estas metodologias assentam na modelação do processo através de modelos matemáticos de previsão que, dada a complexidade e quantidade de variáveis presentes nos diversos tipos de maquinagem, apenas podem atingir graus de aproximação reduzidos em relação aos valores experimentais.

A chamada maquinagem inteligente é o processo em que o sistema tem a capacidade de utilizar a informação obtida em tempo real, ou não, do processo para melhorá-lo em iterações futuras. Trata-se da junção de várias formas de aprendizagem artificial que aumentam o "conhecimento" contido no sistema de forma contínua e aplicam-no de forma automática, aumentando assim o desempenho do processo ao encontro de determinada função de objetivo. Estes sistemas podem ser munidos de controlo em tempo real com recurso a sensores de momento aplicados às ferramentas, sensores de vibrações e, de temperatura e, além disso, de módulos para aproveitar e lidar com a informação vaga proveniente de especialistas na área automaticamente, como é o caso do recurso à *Fuzzy theory*. Atualmente, os sistemas mais avançados de otimização da maquinagem são sistemas inteligentes que sincronizam os dois módulos de aprendizagem com o sistema de linguagem universal para procedimentos de maquinagem assistida com computador (CAM), ou seja, em formato STEP NC.

A metodologia sugerida para a otimização do processo de maquinagem está contida no universo de otimização alternativo à modelação matemática linear, e trata-se de um sistema de armazenagem e reutilização de boas-práticas com bons resultados finais que cresce em significância com a sua utilização, tal como um sistema inteligente, sofrendo ao longo do tempo uma otimização constante com recurso a resultados obtidos na fabricação e investigação feita nesse âmbito. Este sistema vai sendo melhorado ao longo do tempo, baseando-se em informação não precisa e vaga, típica na troca de dados em relação a processos de maquinagem, e articulando este tipo de informação com outra de carácter específico e exato (restrições físicas da máquina, tempos de vida da ferramenta, grandezas de corte, entre outras). A aprendizagem

é feita através de inúmeros testes, que constituem todos os componentes fabricados que são considerados para inclusão no sistema. Estes têm de ser interpretados e introduzidos no sistema manualmente. Este sistema pode ser caracterizado como um sistema de otimização de processo computacional *semi-inteligente* com recurso à utilização de uma base de conhecimento *ou KDB- (Knowgede Database)*. As metas definidas (pela gestão de topo da empresa onde a implementação se insere) foram traduzidas nos seguintes objetivos principais: Nivelção e melhoria do desempenho dos processos de produção de peças por maquinaria, em que o desempenho é medido através do Mínimo custo de produção, Máxima qualidade de superfície e Máxima vida da ferramenta, consoante o tipo trabalho a efetuar.

1.1 Enquadramento

1.1.1 Mercado

A eficiência e produtividade dos processos de fabrico de peças em metal por corte por arranque de apara tem evoluído a um ritmo elevado nos últimos cinquenta anos [5]. Sendo este o processo o mais disseminado na indústria é de vital importância o investimento e aposta no seu desenvolvimento. O esforço e a aposta no sector têm vindo a ser desenvolvidos por todo o mundo, destacando-se o investimento nos países economicamente mais evoluídos: Alemanha, Japão e EUA, (Figura 1). A dimensão deste investimento pode ser mesmo usada como métrica de avaliação ao nível industrial e financeiro de cada país [4].

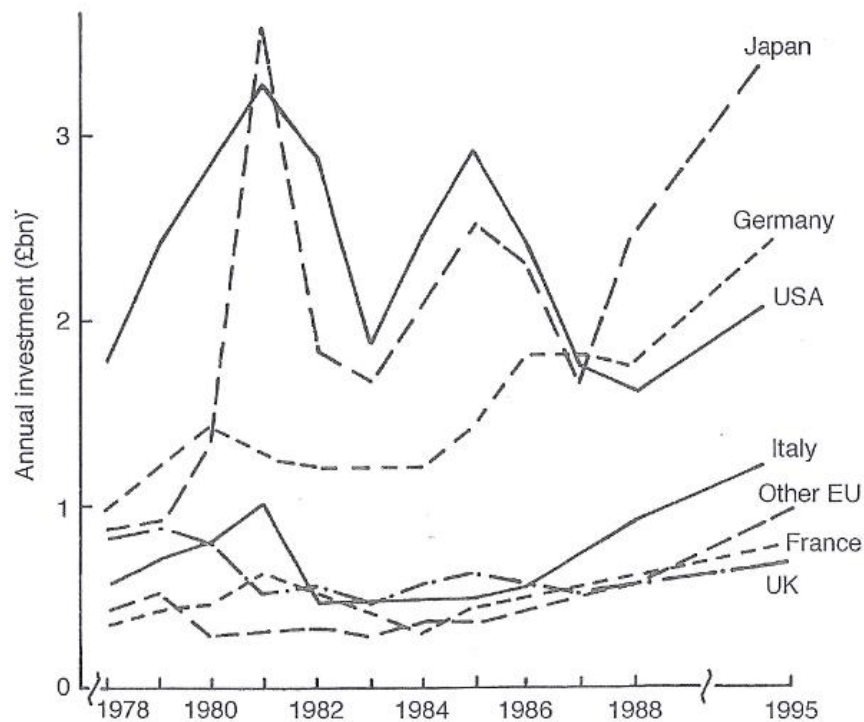


Figura 1- Procura internacional de máquinas de ferramentas, 1978-88, £bn Eurostat.[4]

O investimento em maquinaria associada tem-se mantido elevado nos anos posteriores aos referidos na figura anterior, crescendo sempre de 20% a 100% ao ano, excetuando os períodos de crise [16].

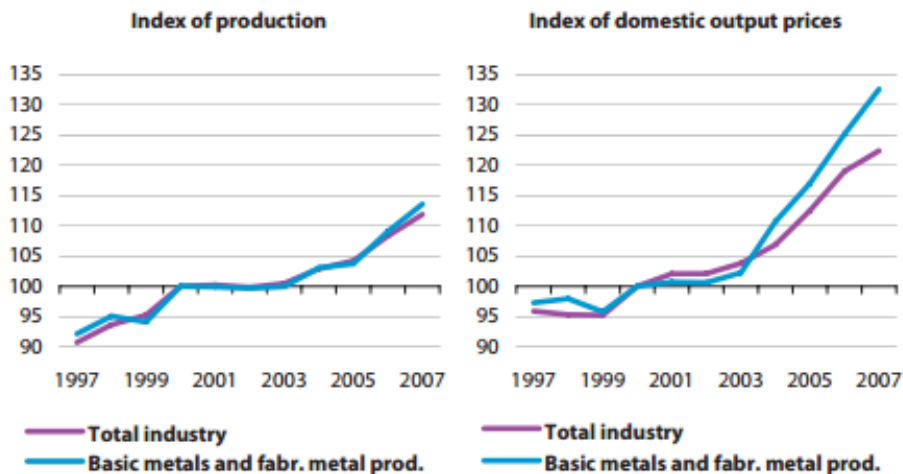


Figura 2 – Andamento dos índices de produção e preços de exportação para produtos metalomecânicos na Europa. [16]

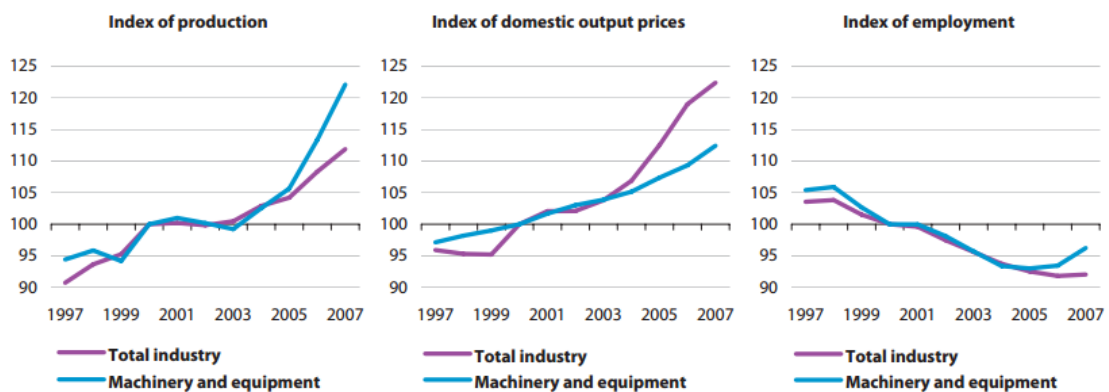


Figura 3 - Fabrico de maquinaria e equipamento (NACE Division 29) Evolução dos indicadores chave, UE-27 (2000=100). [17]

1.1.2 Indústria de Moldes

Analisando a indústria de moldes para plásticos, a aposta e investimento em processos de fresagem cada vez mais eficientes e avançados tem assumido uma tendência crescente. Este aumento acompanha a procura de peças plásticas com complexidade e acabamento cada vez mais exigentes, cujos moldes podem ser produzidos em material metálico através do processo de corte por arranque de apra, com características geométricas de complexidade elevada e acabamentos que podem chegar até 1µm de rugosidade média. [15]

Assimilada a vasta importância deste processo de fabrico e das suas implicações transversais na indústria, é compreensível a grande aposta e investigação em relação à sua eficiência e otimização. Melhorias concretizadas neste âmbito têm imediatamente grandes retornos tanto a nível individual das empresas como a nível macro-económico [2].

O aproveitamento e reutilização do conhecimento que vai sendo gerado sobre os processos de fabrico em empresas desta natureza é, não só um dos procedimentos de otimização contínua

mais adequados a implementar, como também uma urgência no seio competitivo e em constante mutação como é o caso da indústria de moldes. [14]

1.2 Oportunidades

A tecnologia de corte por arranque de apara tem evoluído da conjugação de avanços em diferentes áreas da ciência, como é o caso da engenharia mecânica e eletrotécnica, matemática aplicada e informática e computadores. Esta é uma das razões pela qual os mais recentes avanços realizados em cada uma destas áreas não se refletem totalmente nas tecnologias de corte por arranque de apara [8] e, desta forma, tem existido sempre margem para melhorar explorando avanços tecnológicos em cada uma delas.

Nas empresas de moldes, o espaço para a melhoria ainda é mais alargado, uma vez que numa PME (pequena e média empresa) típica da área dos moldes não é dada tanta importância à performance, eficiência e custo de cada processo, mas sim à qualidade do produto final e se cumpre ou não os requisitos impostos pelo cliente, mesmo que para isso se gaste por vezes mais do que é necessário. Contudo, esta tendência está a mudar de dia para dia quer em virtude da forte concorrência, quer das margens cada vez mais apertadas.

1.2.1 Oportunidade de melhoria:

Da observação do sector feita até então é possível identificar algumas oportunidades de melhoria gerais tais como as seguintes:

- No processo de maquinagem de peças metálicas, encontrar e estudar a aplicação de parâmetros de corte mais adequados;
- Escolha de ferramentas de corte mais adequadas a cada material;
- Planeamento de processo adaptando os equipamentos ao trabalho a realizar e organização de uma calendarização de tarefas mais eficaz.
- Aproveitamento do conhecimento gerado ao longo dos anos sobre o processo através da construção de uma Base de Conhecimento (*KDB - Knowledge Data Base*).
- Obtenção de efeitos imediatos e mensuráveis pela implementação da KDB, com melhorias ao nível da fabricação que resultam em poupanças diretas, principalmente se o recurso poupado for o tempo disponível em máquina.

1.3 Limitações

As melhorias ao nível de performance dos processos e otimização para o mínimo custo de produção ou máxima produção são possíveis. No entanto, melhoramentos desta natureza só podem ser realizados com mudanças organizacionais (e de atitude) [8]. Estas tornam-se mais difíceis numa empresa de pequena ou de média dimensão, ao que acresce alguma limitação em

termos de aposta em investigação. Por esta razão é natural que nestas empresas exista tendência para a utilização de métodos de trabalho que se mantêm inalterados durante longos períodos de tempo. Na maior parte dos casos não sendo efetuado nenhum esforço a nível individual ou coletivo à modernização desses mesmos processos.

Outra dificuldade surge da azáfama diária característica destas empresas, limitando o espaço (temporal) para parar, analisar e estudar os processos, experimentando novas alternativas e formas de trabalho. Tanto a falta de disponibilidade dos colaboradores e chefia, como a falta de tempo e recursos na direção da investigação é um obstáculo que poucas empresas conseguem superar.

1.4 Motivação

Tendo em conta a abrangência do processo de fabrico de peças metálicas melhorias conseguidas neste âmbito têm uma importância proporcional ao vasto grupo de áreas industriais onde tem aplicação.

Possíveis ganhos/oportunidades de melhoria foram detetados ao observar tarefas básicas, tais como a escolha dos parâmetros de corte e ferramentas de corte de acordo com o material e máquina, entre outras práticas levadas a cabo no departamento da fabricação em maquinaria CNC e programação CAM, práticas estas que, segundo o conhecimento de alguns colaboradores, são repetidas e praticadas em muitas empresas do mesmo sector.

O desconhecimento de conceitos ligados à maquinagem, tais como a otimização de acordo com objetivos ou otimização multi-objectivo (TQC- *in the shortest Time, with the highest Quality, and the minimum Cost*) ou otimização para a máxima TRM (Taxa de remoção de material)[8] são indicadores de falta de conhecimento e percepção da eficiência de cada processo.

De alguma forma, o conhecimento adquirido sobre o processo em anos de experiência tem de coexistir e ser completado por pesquisa e investigação de temáticas correntes e atuais. Isto pode ser promovido e assegurado mediante uma plataforma onde este tipo de interação seja possível, e onde a informação possa ser registada e aproveitada para benefício futuro e constante das organizações.

A criação de uma base de conhecimento é pois a ideia acertada, e será a forma como vai ser colocada em prática que definirá a utilidade ou não deste sistema.

Os principais Objetivos deste trabalho são definir qual a melhor forma de apoiar a geração de processos de maquinagem tendo em conta as características da empresa e implementar, dentro dos possíveis, a solução encontrada.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

O primeiro capítulo introduz o tema contextualizando o problema, a tecnologia de fabrico em questão e o meio onde surge a oportunidade e onde será aplicada a solução.

O segundo capítulo aborda transversalmente a temática da maquinagem, desde a nomenclatura, decomposição da força de maquinagem e relações entre os parâmetros de corte e o resultado esperado. Ainda no segundo capítulo é abordada a problemática da maquinagem moderna de superfícies esculpidas, etapas do processo, metodologias e estratégias tipicamente utilizadas. Na parte final do segundo capítulo abordam-se as diversas formas de otimização e melhoria deste processo de fabrico, começando pelas mais convencionais até às metodologias mais recentes. No âmbito das metodologias alvo de investigação mais recente é realçado o papel de um base de conhecimento e de que forma e até que medida se pode otimizar o processo de maquinagem utilizando esta ferramenta. Para fechar o segundo capítulo são enumeradas as etapas gerais, típicas da implementação de uma base de conhecimento.

No terceiro capítulo é explicado como foi adaptada a utilização de uma base (de dados) de conhecimento (KDB – Knowledge Database) de forma a criar uma plataforma de auxílio à geração de processos de maquinagem e de que maneira este processo representa uma forma de otimização geral do processo.

No quarto capítulo são apresentados e interpretados alguns resultados da implementação da base de conhecimento.

No quinto e sexto capítulo são feitas as considerações finais em jeito de conclusão, ligando a fase em que se encontra o projeto com os trabalhos futuros e desafios dos mesmos.

2. Estado da Arte/conhecimento

2.1 Maquinagem – Generalidades

Como definição geral dos processos de maquinagem [8], trata-se da remoção de material indesejado da peça a fabricar (WP) para, desta forma, se obter uma peça acabada com a dimensão, forma e qualidade de superfície desejados. No processo de maquinagem o material é removido em forma de apara por intermédio do contacto efetivo da ferramenta de corte com o material base.

Os processos de maquinagem por corte de metais podem ser classificados como processos tradicional ou não tradicionais de formação de apara com utilização de ferramenta de corte (Figura 4).

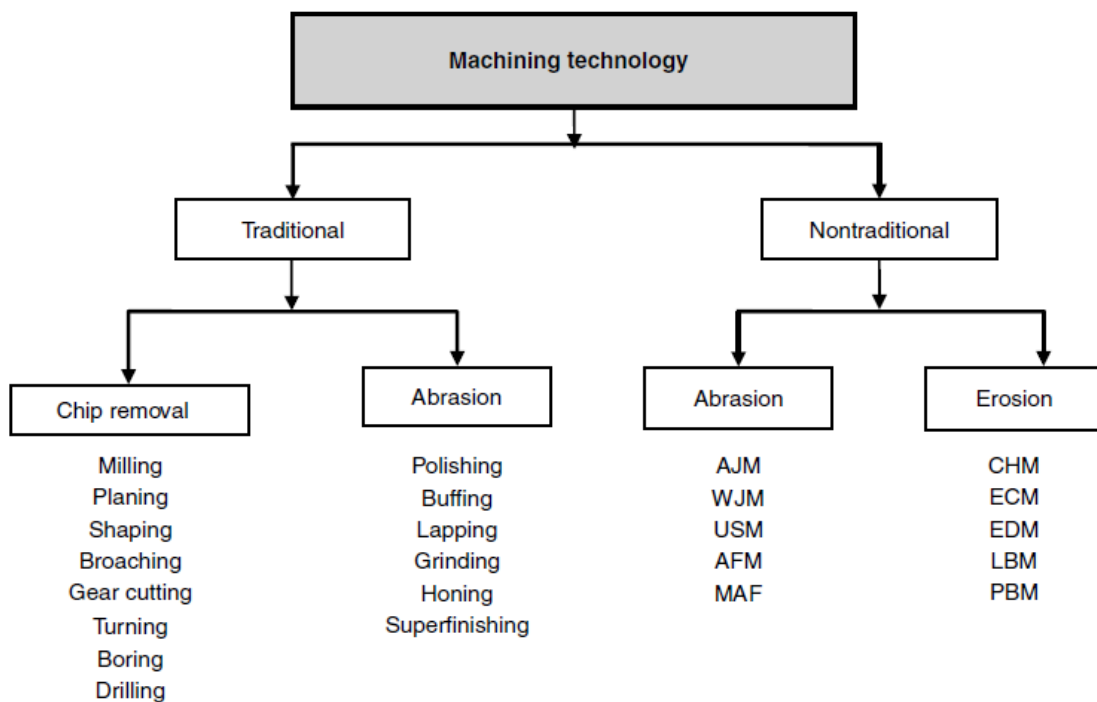


Figura 4 - Classificação geral dos processos de corte. [8]

Abaixo podem ser observados exemplos de processo dentro de categoria de corte por arranque de apara (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**) (*Chip removal*).

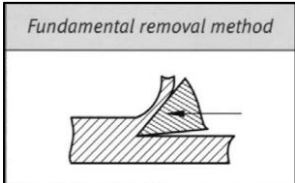
Processo de remoção da apara	Exemplos de processo.
 <p><i>Fundamental removal method</i></p>	<p>Corte</p> <p>Torneamento</p> <p>Fresagem</p> <p>Furação</p> <p>Retificação</p>

Figura 5 - Exemplos de processo de corte por arranque de apara. [3]

Os principais constituintes genéricos do processo de maquinagem estão dispostos no esquema seguinte (Figura 6). A abordagem bibliográfica percorre as diferentes secções do esquema de processo abordando cada uma delas com o ênfase apropriado. De destacar as considerações associadas às ferramentas de corte (*Machine tools*) na primeira secção e à produtividade e (*Productivity*) cuja informação é de especial importância e se alinha com os objetivos gerais do presente trabalho. [8]

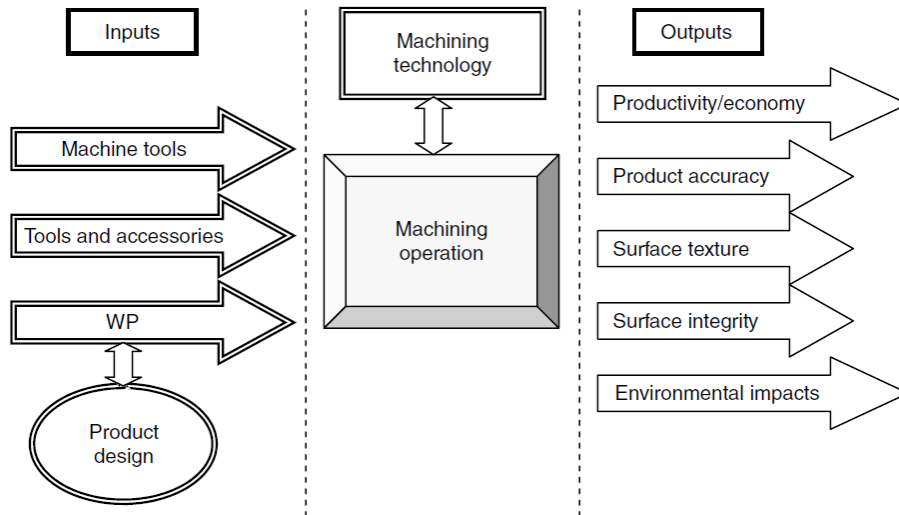


Figura 6 - Aspectos gerais da maquinagem. [8]

2.1.1 Parâmetros de Corte

Os parâmetros de corte, caracterizam o movimento da ferramenta [1] e devem ser definidas durante a programação da trajetória da ferramenta e ajustadas direta ou indiretamente quando necessário.[6]

Velocidade de Avanço

A velocidade de avanço (v_f) mede o deslocamento relativo da ferramenta em relação ao material a maquinar, na direção do avanço, para um curso elementar de trabalho ou para uma rotação [1] (Figura 7) . A velocidade de avanço é tipicamente medida em [m/minuto] sendo importante para determinar o tempo de corte, a TRM (taxa de remoção de material, que é associada ao desempenho), entre outros aspetos nucleares do processo.

O avanço por dente (f_z), tipicamente definido o valor máximo pelas marcas de ferramentas, pode ser calculado a partir da velocidade de avanço, e vice-versa, através seguinte relação:

$$f_z = \frac{v_f}{Z} \quad (3.1)$$

Sendo Z o número de arestas de corte ou dentes da ferramenta [6]

Se aumentar o avanço por dente (f_z) aumentam-se as forças de corte, diminuindo assim significativamente a vida da ferramenta e aumentando a potência gasta no corte. As marcas de referência de fabricantes de ferramentas tendem sempre a apostar todos os anos em novas ferramentas com geometrias diversas de forma a possibilitar grandes avanços por dente com consumo de potência o mais reduzido possível. Para o cliente final significa mais material removido (Taxa de Remoção de Material superior) a um custo energético menor (menor potência necessária).

Penetramento

O penetramento corresponde à espessura da camada de material retirada. Mede-se perpendicularmente às direções do avanço do corte (Figura 7). No caso de utilização de ferramentas rotativas de arestas múltiplas pode distinguir-se o penetramento radial (pr ou ap) e o penetramento axial (pa ou ae) [6]. Figura 7

Aumentar o penetramento, tipicamente aumenta as forças de maquinagem.

Penetramento radial

O penetramento radial (pr ou ae) é medido perpendicularmente ao eixo de rotação da ferramenta. No caso da fresagem, cuja direção de avanço é perpendicular ao eixo de rotação da ferramenta, (pr ou ae) é medido sobre o diâmetro da ferramenta sendo no máximo igual a este valor [6] (Figura 7).

Penetramento axial

O penetramento axial (pa ou ap) é medido paralelamente ao eixo de rotação da ferramenta, o qual é geralmente o eixo “Z” da máquina.

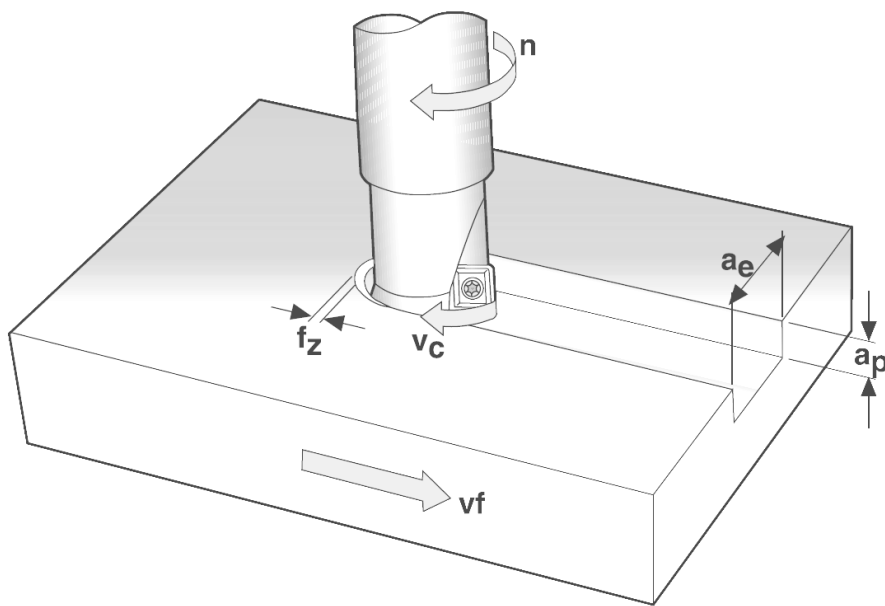


Figura 7 - Parâmetros de corte. [50]

É de notar que na designação futura de alguns dos parâmetros anteriormente referidos são utilizadas algumas abreviaturas, com referência inglesa (a_p , a_e).

2.1.2 Mecanismos de formação da apara

O processo de produção de peças em materiais metálicos por maquinagem, na sua essência, é um processo de formação de apara, pelo que, para uma caracterização eficaz da maquinagem é necessária a compreensão dos mecanismos e forças envolvidos no processo de formação da apara.

O mecanismo de formação da apara decorre do contacto da superfície cortante da ferramenta com o material de base, provocando a separação (por diversos mecanismos de escorregamento) do material da apara em relação ao material base da peça.

Grandezas da avara (terminologia, corte ortogonal).

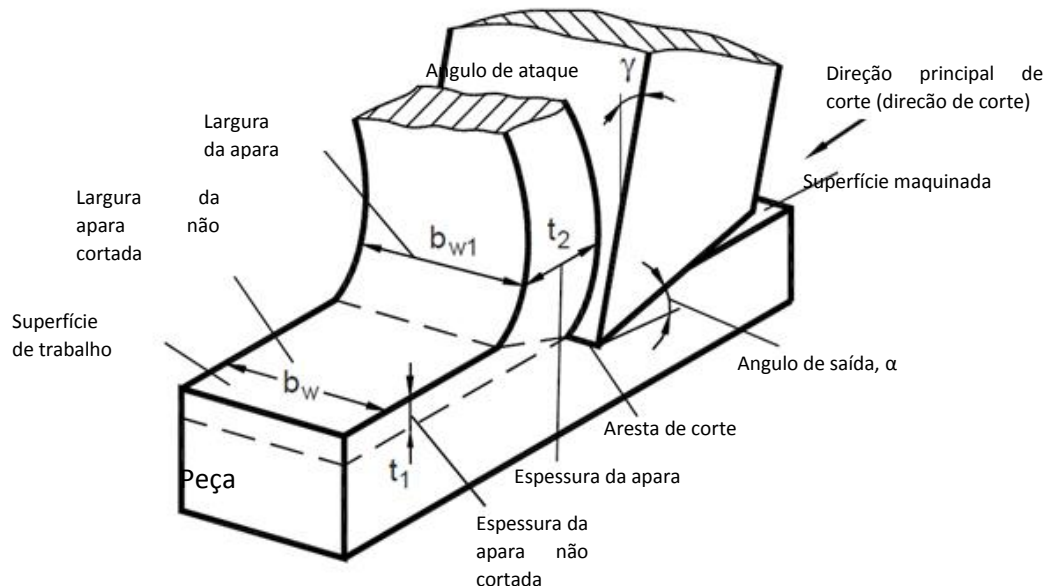


Figura 8 - Mecanismo de formação da avara. (Adaptação de [4]).

2.1.3 Mecânica do processo de corte (forças de corte)

O objetivo principal da análise termomecânica do processo de corte prende-se com a determinação da força e da potência associada ao processo. Apesar destes objetivos serem atingíveis através deste tipo de análises, hoje em dia ainda não são amplamente praticadas [4]. Em vez disso, investigações conduzidas neste âmbito continuam a revelar a utilização de métodos de “tentativa-erro”, originalmente desenvolvidos no séc.XIV e bem descritos por Armarego Eja (1969) [19].

Um dos parâmetros operacionais mais importantes e, apesar disso, menos compreendidos nos processos de maquinagem é a força de corte. Em geral, esta força é definida por um vetor tridimensional que se decompõem em três componentes, designadamente a força de corte (que permite obter a potência de corte), a força radial e a força axial, de acordo com o referencial orientado da ferramenta como mostra a Figura 9, sendo a componente de maior dimensão a a força de corte. [4] [6]

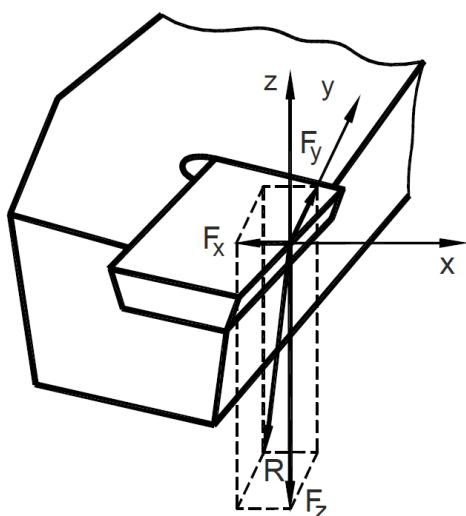


Figura 9 - Componentes da força de corte [4]

Corte ortogonal e corte oblíquo

A análise e discretização de forças nos processos de corte por arranque de apra é feito sobre o corte ortogonal, no entanto geralmente, o corte é tipicamente oblíquo já que os resultados experimentais deste tipo de abordagem (ou seja, a entrada da ferramenta de corte no material) provocam menores tensões no conjunto ferramenta-peça-máquina, do que o corte ortogonal. Abaixo são representados estes tipos de corte esquematicamente.

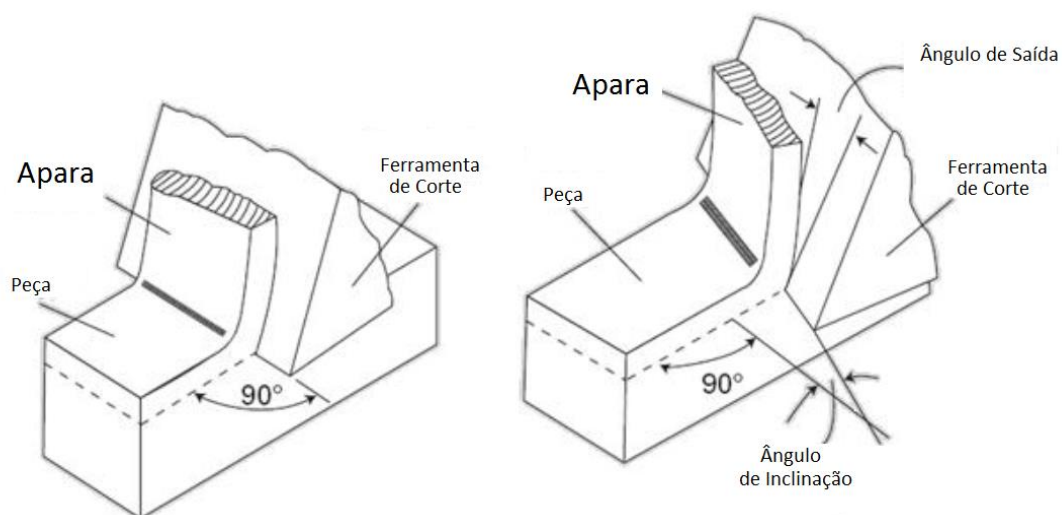


Figura 10 - Corte ortogonal e corte oblíquo. (adaptado de [15]) Esquerda – Corte ortogonal; Direita – Corte oblíquo.

Mecânica do Corte Ortogonal

No que respeita à determinação da força de corte através de metodologias teóricas de cálculo, de entre os modelos clássicos disponíveis o que é largamente mais utilizado é o chamado “Circulo de forças de Merchant (*Merchant’s Force Circle Diagram*)” ou “Diagrama Condensado de Forças” [4]. A Figura 11 representa o corte ortogonal simplificado da aparta. Por ação mecânica da ferramenta, uma porção de material é removido da peça (caracterizado pela largura de maquiagem (b) e espessura de corte (h)). A aresta de corte pode ser traduzida por uma reta normal à direção da velocidade de corte (v_c), normal à direção da velocidade de avanço (v_f). Desta forma, para efeitos de análise do processo, pode considerar-se que este ocorre apenas bidimensionalmente.

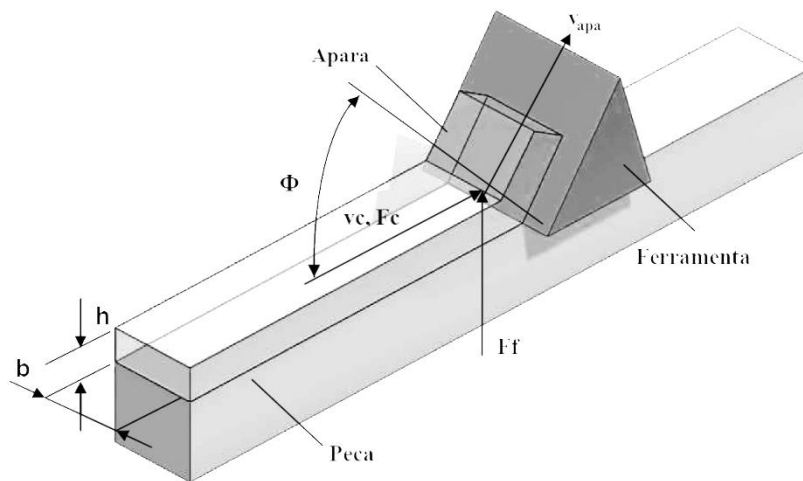


Figura 11 - Corte ortogonal. [18]

O arranque da aparta é proporcionado quando o material base atinge os limites de deformação que são provocados por tensões, principalmente de corte, apesar de existirem também tensões normais. A propagação das fendas de rutura acontece de forma contínua numa região traduzida por um plano que é denominado plano de corte primário, o qual se define pelo ângulo de corte (ϕ), ângulo que é medido desde esse plano até ao plano paralelo à direção da velocidade de corte (Figura 12). [18]

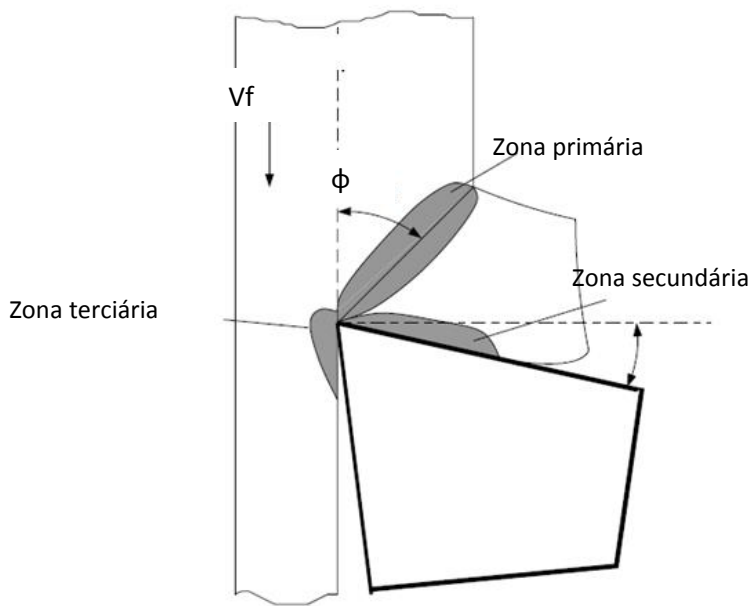


Figura 12 - Zonas de interação Primária secundária e terciária [18]

Por ação das tensões de compressão pode ainda definir-se o grau de encalque (R_c), isto é a razão entre a espessura da apana (" h " na figura abaixo) e a espessura de material que se pretende cortar (" h' " na figura abaixo) (Figura 13). [18]

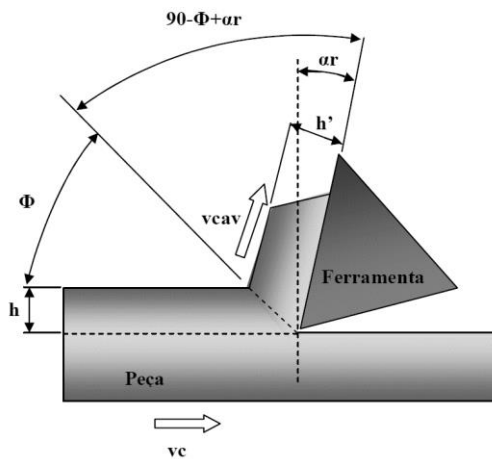


Figura 13 - Cálculo do grau de encalque (R_c).

2.1.4 Forças de corte (análise ortogonal)

A decomposição das forças no plano ortogonal pode ser feita através do, já mencionado, Círculo de Merchant (Figura 14). Através de relações geométricas é possível definir as diferentes componentes da força que atuam sobre a ferramenta de corte (F_m), cujo vetor tem a medida do círculo de Merchant, e que pode ser denominada como força de maquinagem [6].

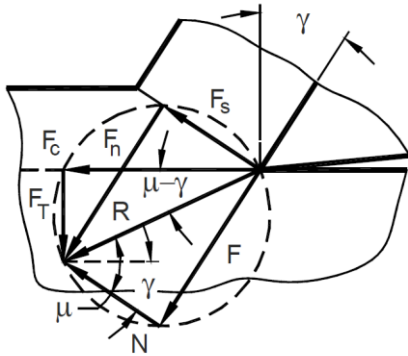


Figura 14 - Círculo de forças de Merchant. [18]

A força total R (ou *resultante*) é decomposta na força tangencial da superfície de contacto entre a apara e a ferramenta de corte F e pela força normal a esta, N . O ângulo μ entre F e N é, então, o ângulo de atrito. A força R é também decomposta segundo a direção do plano de corte pela força por tensões de corte, F_s (ou *shearing force*) que segundo Merchant é responsável pelo trabalho gasto no corte do metal, e a força normal ao plano de corte (F_n), que exerce uma tensão de compressão no plano de corte provocando o encalque do material da apara. A força R é ainda decomposta ao longo da direção do movimento da ferramenta F_c , sendo denominada como força de corte (Figura 14) [4], [18], [19].

A determinação da força de corte é baseada no cálculo da força de separação (F_s) cuja equação proposta por Merchant é a seguinte: [4]

$$F_s = \frac{\tau_y A_c}{\sin \varphi} \quad (2.1)$$

Em que τ_y é a tensão de cedência do material base, φ é o ângulo de separação e A_c é a área de separação, ou seja, o produto da espessura pela profundidade de corte.

Segundo Ernest e Merchant, o material base deforma-se quando a tensão no plano de separação ultrapassa a tensão de corte máxima suportada pelo material [4] [6].

Segunda a bibliografia disponível, mostra-se que a τ_y devia ser considerada como a tensão de corte dinâmica (*shear flow stress*), a qual apresentaria valores superiores à tensão de cedência (*yield strength*) do material base [4].

Do Círculo de Merchant retiram-se ainda as seguintes grandezas:

$$F_c = \frac{F_s \cos(\mu - \gamma)}{\cos(\varphi + \mu - \gamma)} \quad (2.2)$$

Combinando as equações (2.1) e (2.2) pode obter-se:

$$F_c = \frac{\tau_y A_c \cos(\mu - \gamma)}{\sin \varphi \cos(\varphi + \mu - \gamma)} \quad (2.3)$$

A potência de corte é assim calculada através da seguinte equação:

$$P_c = F_c \cdot v \quad (2.4)$$

Onde v é a velocidade de corte.

2.1.5 Medição da força de corte por métodos experimentais

O principal problema da medição experimental da força de corte é que não pode ser medida com precisão razoável. Mesmo com o máximo cuidado durante o processo de medição, variações de mais de 50% são constantemente verificadas. [4] Além do mencionado, são raras as empresas que dispõem de equipamento adequado e calibrado para efetuar medições desta natureza.

2.1.6 Forças na Micro Fabricação

Ao nível da maquinagem macro os modelos que tipicamente são encontrados na bibliografia assentam sobre o modelo de Merchant que considera a aresta de corte perfeitamente afiada, não existindo assim contacto entre a superfície inferior da ferramenta e a superfície já maquinada da peça. Para estes modelos de macro-maquinagem a força de maquinagem é calculada predominantemente pela força de corte responsável pela separação da apara provocada pela ferramenta de corte. Porém, para o caso da micro maquinagem, a dimensão do raio da aresta cortante da ferramenta de corte é comparável com a espessura de material que vai ser cortado. [31] Este tipo de abordagem deve considerar as tensões adicionais provocadas pela abordagem negativa ao corte de pelo menos uma fração do raio da ferramenta (ângulo de ataque negativo), bem como a análise tribológica do processo de maquinagem já que a área de contato é proporcionalmente muito superior.

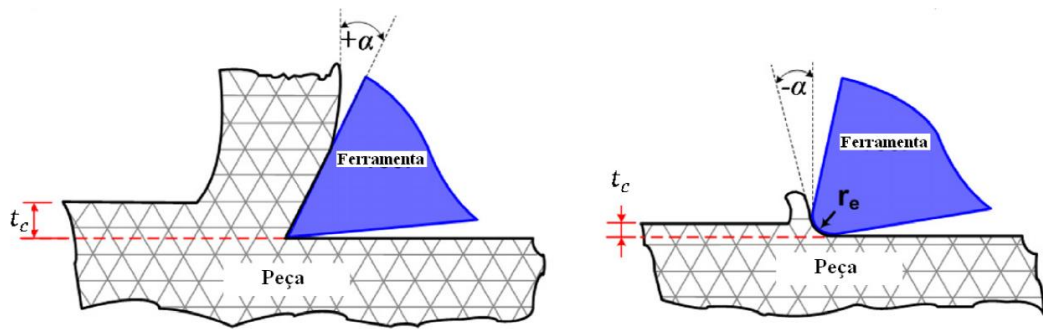


Figura 15 - Macro maquinagem (esquerda) e micro maquinagem (direita).[31]

2.1.7 Metodologia utilizada para o cálculo da Força de Maquinagem

Davim [4] apresenta uma metodologia baseada no modelo da partição da energia despendida no corte de materiais metálicos, apresentado por Astakhov em 1996. A potência consumida no processo de corte pode, desta forma, ser descrita através da seguinte equação:

$$P_c = F_c \cdot v = P_{pd} + P_{fR} + P_{fF} + P_{ch} \quad (2.5)$$

Como se pode perceber da equação, para o cálculo da potência de corte são consideradas quatro componentes da potência, sendo elas (P_{pd}) a potência despendida na deformação plástica da camada que está a ser removida, (P_{fR}) a potência consumida na interação da ferramenta de corte com a apra, (P_{fF}) a potência resultante da interação da ferramenta de corte com o material base e finalmente (P_{ch}) a potência associada à formação de novas superfícies. [21]

Partindo da equação 3.5 pode-se calcular a força de corte,

$$F_c = \frac{P_{pd} + P_{fR} + P_{fF} + P_{ch}}{v} \quad (2.6)$$

Cada uma das componentes da potência mencionadas é calculada através de coeficientes extraídos da correlação entre parâmetros próprios do corte de metais. Apesar da aparente simplicidade do método a aplicar, as bases onde assentam os cálculos são fruto de inúmeras investigações e cuidadosos estudos teóricos e experimentais que definem em detalhe os valores utilizados. [4]

2.1.8 Influência da V_c , a_p e F na Decomposição da potência.

Quando comparados os resultados experimentais da força de maquinagem com os obtidos através da aplicação da metodologia proposta por Davim, as semelhanças nos resultados confirmam a pertinência deste método [4]. Verificada a coesão da metodologia, é possível prever a influência, relativa e absoluta, da alteração de cada parâmetro do processo de maquinagem nos valores da potência e da força de corte.

O impacto da alteração da velocidade de corte na decomposição da potência gasta no processo é apresentada sob a forma de percentagem na figura abaixo (Figura 16). A alteração da velocidade de corte para um valor quatro vezes superior (de 1 para 4 m/s) diminui a parcela da potência consumida na deformação plástica do material, enquanto aumenta ligeiramente as componentes da potência consumida na interface da ferramenta com a apara e da ferramenta com a peça. A parcela referente à formação de novas superfícies de corte é semelhante apesar de serem formadas muito mais aparas por unidade de tempo.

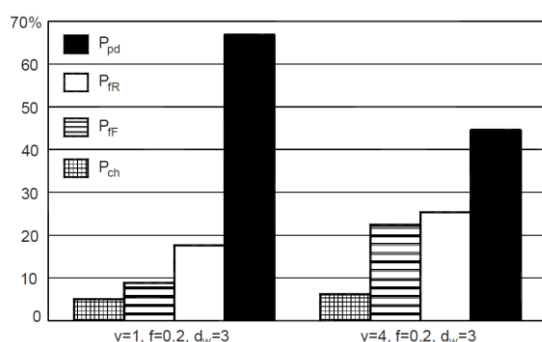


Figura 16 - Impacto da alteração da velocidade de corte [m/s] nos diferentes componentes da potência de corte. [4]

A alteração da profundidade de corte e do avanço pouco alteram a divisão relativa das componentes da potência. [4]

Em suma, o valor das forças provenientes da interação ferramenta-apara e ferramenta-peça, sendo em conjunto de importância superior que a própria parcela gasta na deformação plástica do material, reiteram a relevância do estudo tribológico no processo de corte por arranque de apara, principalmente em processo de maquinagem de alta velocidade.

2.1.9 FEA -Análise de Elementos Finitos no Corte por Arranque Apara

Inúmeros modelos e *softwares* de análise através de simulação numérica pelo método dos elementos finitos têm sido utilizados na modelação do processo de corte por arranque de apara. Apesar das enormes potencialidades deste tipo de análises, os modelos teóricos nos quais assenta toda a análise posteriormente realizada, são construídos e configurados de uma forma muito dependente da intervenção dos engenheiros/técnicos que definiram as características da simulação, que acaba muitas vezes por levar a um afastamento da realidade do processo e do

verificado empiricamente no processo de maquinagem [4]. Sem retirar o mérito à utilização da simulação numérica dos processos através do método de elementos finitos de forma cada vez mais eficaz, com o aumento da capacidade de processamento a nível computacional, estes modelos estão sempre limitados na sua génese, ou seja, na definição inicial do processo. Limitação esta que não parece prender a atenção das investigações, por enquanto, ao nível da maquinagem. [5,2]

2.2 Maquinagem de Superfícies Esculpidas (SSM)

SSM – (Sculptured Surface Machining)

A variedade de produtos que são desenhados hoje em dia com superfícies curvas a três dimensões e de complexidade, tanto de geometria como de produção, elevadas, são cada vez mais. Este aumento acompanha a tendência do *design* de produtos com superfícies atraentes do ponto de vista visual, que requerem não só superfícies de geometria complexa bem como qualidades de superfície elevadas. Esta tendência é verificada nas mais variadas indústrias, onde a automóvel não é exceção, tanto diretamente nas peças fabricadas em material metálico como indiretamente nos moldes para o fabrico de peças plásticas. O fabrico eficaz e de alta qualidade destes atributos a custos cada vez mais competitivo é portanto de maior preocupação para os agentes integrantes destas indústrias.

2.2.1 Programação assistida por computador (CAM)

A grande maioria dos softwares utilizados em processo de produção assistida por computador (CAM) têm já funções integradas robustas de geração de percursos capazes de produzir superfícies esculpidas a alta velocidade de maquinagem com uma série de estratégias diferentes. As estratégias-tipo disponíveis de uma forma geral na maioria destes softwares são apresentadas e ilustradas abaixo.

Estratégias de maquinagem de superfícies esculpidas

Passagem paralela/ ou cópia: estratégia mais utilizada no acabamento, onde a ferramenta descreve um trajetória paralela ao longo dos eixos X e Y e segue a superfície da peça ao longo do eixo z (Figura 17 (a)). De forma semelhante pode também descrever trajetórias paralelas com o referencial radial (Figura 17 (b)).

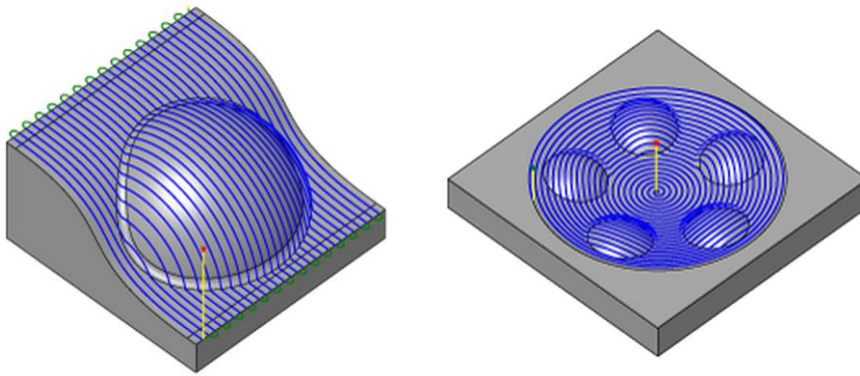


Figura 17 - (a) Passagem de paralelas ou por cópia; (b) Cópia com referencial radial. [41]

Z-level: A ferramenta contorna a peça em planos com a cota do eixo Z fixa em cada passagem (Figura 18). A estratégia *Z-level* é a mais versátil e também a mais fácil e rápida forma de programar a trajetória da ferramenta, portanto muito utilizado na indústria para executar qualquer tipo de geometria (Figura 18).

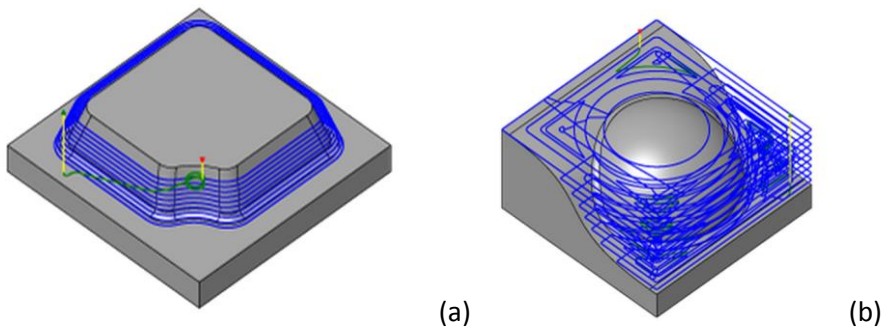


Figura 18 – Estratégia de maquinagem por planos (Z-level ou por cotas) por contorno (a) e por desbaste geral (b). [42]

Existem outros tipos de estratégia que resultam da combinação das apresentadas (Figura 19). Outras ainda possibilitam orientar a ferramenta de determinada forma ou seguir a geometria a descrever determinado ângulo, definindo limites geométricos e característicos para cada estratégia com recurso não só à maquinagem 3+2 eixos (Figura 19) (posicionamento da peça a 5 eixos) como à maquinagem a 5 eixos contínuos. Todas estas possibilidades estão largamente descritas em pormenor na documentação de apoio dos softwares de fabrico assistido por computador.

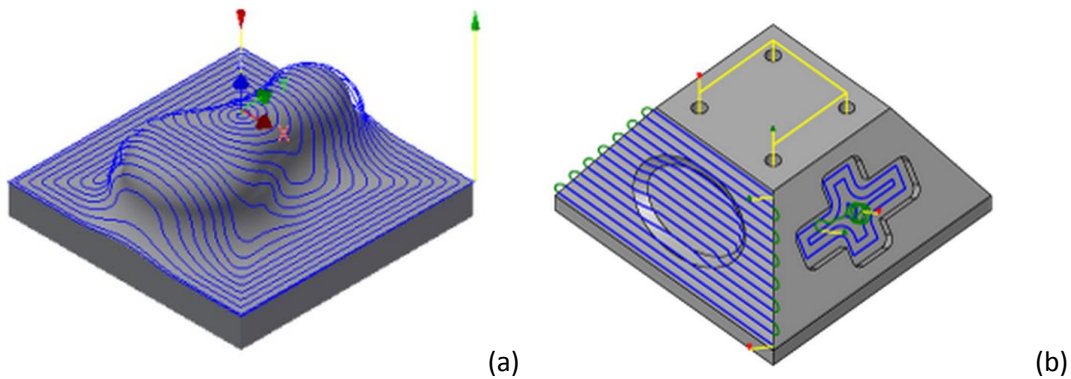


Figura 19 – (a) Contorno 3D em espiral; (b) Maquinagem 3+2 eixos. [42]

2.2.2 Softwares para Maquinagem (CAM)

No mercado de softwares CAM, hoje em dia, é requisito básico a geração matemática rápida e eficaz de percursos de ferramentas ao longo de virtualmente qualquer superfície esculpida. Requisitos muito diferentes do tempo anterior ao início da utilização das chamadas *B-rep solid* ou *NURBS (non-uniform rational B-spline)* em 1980. [2]

Requisitos de um software CAM, TQC

Apesar da grande oferta no mercado e das numerosas especificações deste tipo de sistemas, podem definir-se um conjunto de requisitos básicos que devem estar presentes nestes softwares. Estes requisitos são definidos em torno do conceito *TQC (in the shortest Time, with the highest Quality, and the minimum Cost)* [2] e fazem parte de um conjunto de requisitos (informais) enumerados mais à frente.

Com os seguintes *inputs* o sistema terá de gerar os *outputs* de forma fácil e eficaz.

Entradas (INPUTS):

- -O modelo CAD da peça,
- Características da geometria e propriedades do material da peça,
- O equipamento CNC onde será realizado o trabalho,
- O conjunto de ferramentas a utilizar.

Saídas (OUTPUTS):

- Estratégia de maquinagem da peça esculpida,
- Percurso da ferramenta (ficheiro CN controlo numérico do percurso da ferramenta),
- Parâmetros de corte para cada etapa da estratégia,
- Folha de instruções com informação relevante.

Para cumprir o objetivo *TQC*, o processamento da informação mencionada não chega. Na realidade, a grande parcela de processamento de informação num trabalho de maquinagem é feita pelo programador CAM [2]. Esta parcela é relativamente maior quanto maior for a complexidade da peça ou da superfície esculpida em questão.

Processamento da Informação

Além dos requisitos informais têm de existir também os requisitos técnicos que são bem especificados em todos os sistemas e estão relacionados com a deteção de colisões entre os elementos móveis da máquina e a peça, simulação de trabalhos de maquinagem e geometrias intermédias, entre outras informações já frequentemente utilizadas na indústria do fabrico com auxílio de equipamentos de CNC.

Informação Relacionada com Geometria da Peça

As operações de gestão de informação relacionadas com a geometria das peças que o software tem de realizar passam pela identificação de *features* (características geométricas de partes ou da totalidade da peça a ser maquinada), (Figura 20) e podem ser sumarizadas no esquema abaixo Figura 21.

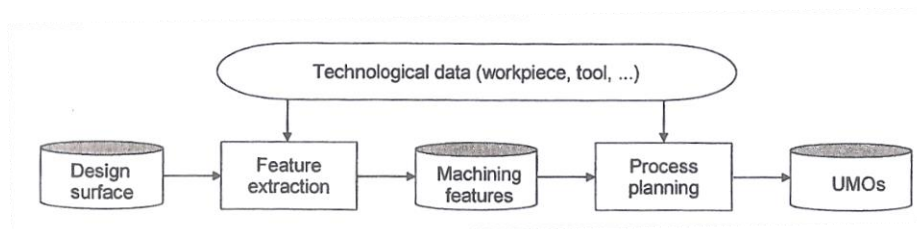


Figura 20 - Processamento de informação baseada em *features*. [2]

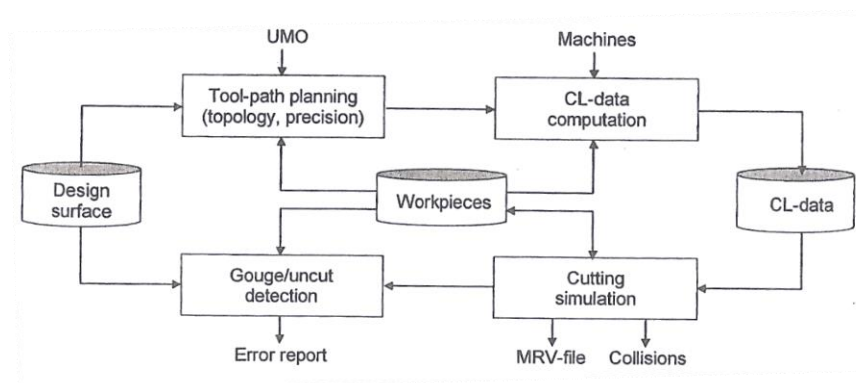


Figura 21 - Processamento de informação relativa a características geométricas. [2]

Informação tecnológica

A informação referida como “informação tecnológica” é constituída maioritariamente por condições de corte, seleção da ferramenta, entre outras opções de maquinagem. Depois do processamento da informação geométrica estar terminado (acima) a escolha dos parâmetros de corte vai determinar a eficiência do processo. [2]

As condições de corte em geral vão ser afetadas por inúmeras condicionantes, tipicamente estão entre as principais as seguintes:

- Tolerância requerida;
- Acabamento superficial requerido;
- Propriedades do material base (dureza, ductilidade, maquinabilidade, etc);
- Características da ferramenta de corte, tipo, geometria e material (HSS,WC,CBN);
- Tipo de maquinagem escolhida (corte por copia, corte a favor ou contra, por mergulho etc).

A característica central deste tipo de informação é o facto de existirem demasiadas variáveis a ter em conta. Um século atrás, Taylor (1947) considerou cerca de doze variáveis diferentes para caracterizar determinada condição de corte para um processo de maquinagem num único ponto (*single-point*). Como é natural, hoje em dia, com processos de maquinagem de múltiplos pontos (como é o caso de superfícies irregulares esculpidas) com inúmeros materiais, geometrias e revestimentos de ferramenta, o problema torna-se mais complexo ainda.

As inúmeras combinações de variáveis originando inúmeras combinações de condições de corte têm de ser minimamente consideradas em cada operação pelo programador CAM na escolha dos parâmetros de corte para cada trabalho de maquinagem. Considerar este número elevado de combinações e variáveis e assim ajustar as opções de maquinagem às que melhor servem o objetivo de TQC, ou seja, as mais eficientes para cada trabalho, constitui hoje um dos maiores desafios e objetivo de estudo em processos de fabricação de peças com recurso a máquinas de ferramenta com controlo numérico.

Uma das abordagens possíveis para este problema é a criação de sistemas de registo (KDB) de condições de corte associadas a parâmetros de corte. Estes sistemas têm como principal objetivo registar operações levadas a cabo na fabricação.

Melhoria continua

Estas operações levadas já a cabo (parâmetros de corte para determinado conjunto de condições de corte) podem não ser as combinações mais eficientes, no entanto, para operações consideradas semelhantes que surjam no futuro, serão utilizadas estas condições de corte ou melhores.

Aproveitamento do conhecimento instalado por todos.

Condições gravadas na KDB são condições adotadas por programadores CAM experientes, que têm a capacidade (exclusivamente Humana) de por consideração de um grande número de variáveis escolheram aquelas condições de corte.

Mais detalhes e vantagens da utilização de um sistema destes serão abordadas de forma completa mais adiante.

2.2.3 Planeamento do processo de maquinagem de uma superfície esculpida

O planeamento da produção de uma superfície esculpida não é mais que a geração de sequências de unidades de operações de maquinagem *UMOs* (*unit machining operations*) [2]. Estas operações podem ser uma de três (Desbaste, Pré- Acabamento ou Acabamento), (Figura 22) que, mais uma vez é tipicamente da responsabilidade dos programadores CAM.

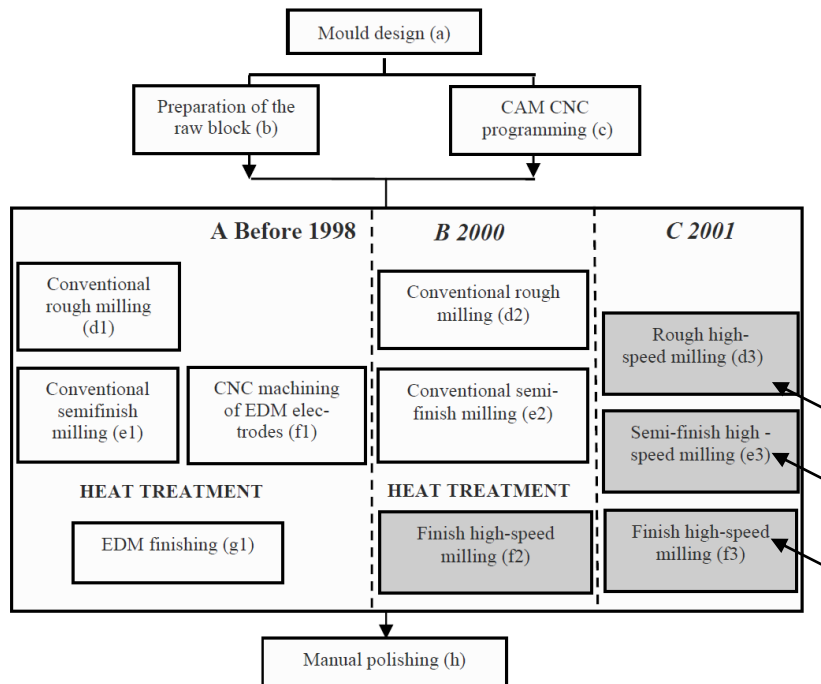


Figura 22 – Operações típicas da produção de peças por maquinagem. [4]

O planeamento organiza-se de forma hierárquica. Considerações feitas a nível global (do processo de maquinagem de uma peça) não são necessárias para cada unidade de operação (local). No que toca à utilização da referida KDB, o modelo proposto [2] aconselha a sua utilização em ambos os níveis de planeamento.

Nível Global (Figura 23)

Componente do nível global de planeamento:

- Importar ficheiros CAD, design do modelo em bruto e design das superfícies a maquinar,
- Consulta das *DataBase* (DB) de ferramentas (stocks disponíveis) e KDB (parâmetros a utilizar),
- Determinação de regras que ditem as etapas de maquinagem (acabamento, pré-acabamento ou desbaste).

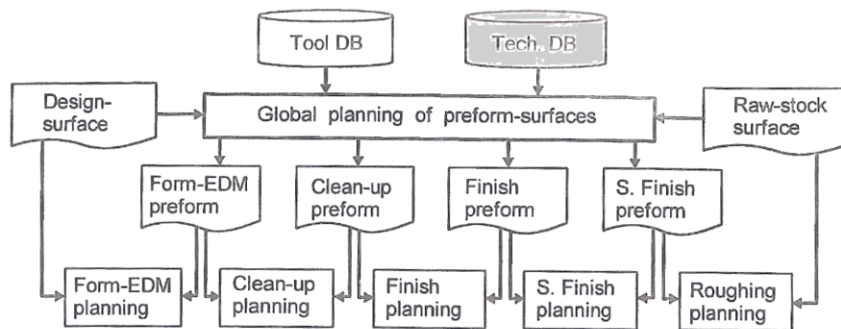


Figura 23 -Utilização da KDB no processo de planeamento global da produção de peças. [2]

Nível local (Figura 24)

A nível local definem-se os procedimentos *UMOs* para cada fase de maquinagem e para cada elemento constituinte da peça. O planeamento local é composto, então, pelas seguintes etapas:

- Obtenção dos ficheiros CAD da geometria no seu estado atual e no seu estado final,
- Acesso às DB e KDB,
- Determinação/obtenção das regras necessárias ao planeamento de UMO.

Como output da fase local de planeamento resulta uma sequência de *UMOs* para a fase de maquinagem.

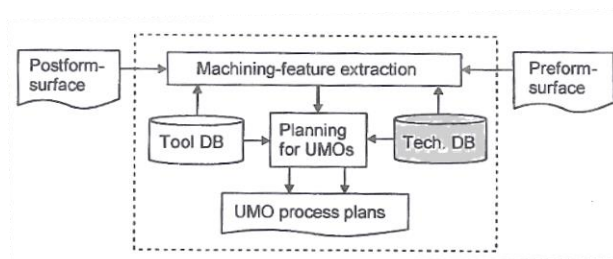


Figura 24 - Utilização da KB no processo de planeamento local. [2]

(Definir estratégias)

No que toca a informação relacionada com a escolha da melhor estratégia para cada caso, existe muito pouco interesse por parte das marcas destes softwares de se comprometerem com uma ou outra estratégia. Esta informação não se encontra disponível pois, para definir qualquer tipo de estratégia é necessário avaliar cada caso específico da peça a produzir, não sendo viável definir inúmeros casos hipotéticos e associar cada um deles a uma estratégia definida. No dia-a-dia das empresas esta decisão cabe aos programadores CAM, o que alarga ainda mais a sua responsabilidade no que toca à tarefa de tomada de decisão em relação a todos os aspetos de produção de cada peça.

Os softwares têm não só de ter os requisitos já comumente exigidos no mercado, mas também de se adaptar às características próprias das empresas e dos seus colaboradores.

Planeamento e utilização de uma KDB

Empresas têm de apostar numa forma de gestão da informação técnica, por exemplo através de uma base/arquivo de conhecimento (*KB - knowledge base*), e desta forma tentar padronizar as operações de maquinagem (*UMOs*) consoante as condições de corte que vão podendo registar e organizar nessa mesma KB. O planeamento e elaboração dos procedimentos de maquinagem devem ter como standards de performance os parâmetros já registados na KDB. Estes registos devem ser encarados como desempenho mínimo dos processos que devem ser melhorados sempre que existir oportunidade de averiguar e estudar cada caso.

2.3 Ferramentas de Corte

2.3.1 Geometria das ferramentas de corte

A geometria da ferramenta afeta acentuadamente o processo de corte. Existem vários estudos publicados com foco na descrição dos efeitos da geometria da ferramenta no processo de corte, no entanto em nenhum deles é descrita uma forma eficaz de traduzir quantitativamente os efeitos da geometria das ferramentas no processo de corte [4]. Nestes estudos são apresentados de forma constante os efeitos da geometria positiva e geometria negativa das ferramentas. A primeira é geralmente adotada na maquinagem de materiais de dureza não muito elevada, já que de uma forma geral traduz-se numa menor força de maquinagem mas em contrapartida num desgaste mais efetivo na aresta cortante da ferramenta. A segunda dá origem a forças de corte mais elevadas e processos menos estáveis de maquinagem, no entanto torna-se vantajosa na maquinagem de materiais duros e extra-duros já que surge muitas vezes o problema da vida útil da ferramenta que, com este tipo de geometria, aumenta devido à inclinação que defende a aresta cortante da ferramenta

2.3.2 Nomenclatura das ferramentas de corte

Ao longo do tempo cada marca de ferramentas tem assumido a construção lógica e própria da geometria das ferramentas organizando-as nos seus catálogos de acordo com as suas próprias premissas. Características geométricas que podem ou não ser semelhantes às de outras marcas cuja nomenclatura também difere entre fabricantes. Desta forma torna-se confusa e pouco perceptível qual ou quais geometrias devem ser utilizadas em cada caso, bem como o registo e a gestão de informação neste sentido. A (Figura 25) é retirada do catálogo da *SECO tools* [50] e mostra a variedade de arestas de corte para um tipo específico de inserto de tornear desta marca.

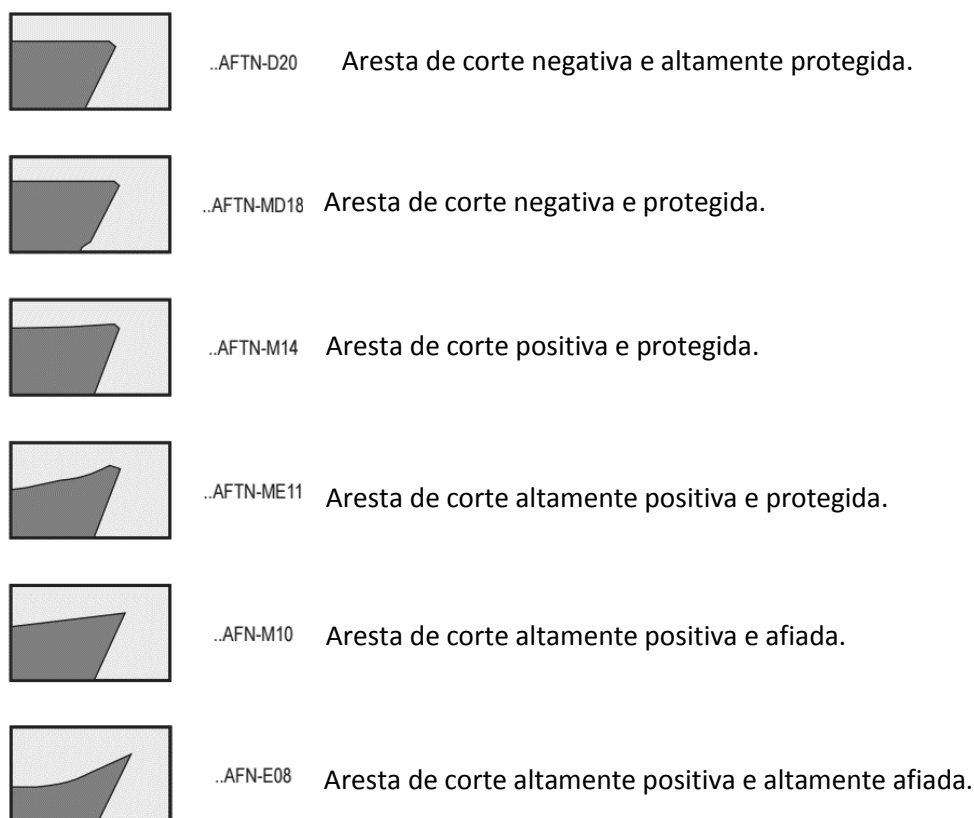


Figura 25 – Tipos de geometria da aresta de corte. [50] *SECO Tools*

ISO 13399 Norma para a definição geométrica de ferramenta de corte.

Através de uma parceria recente entre a *Sandvik Coromant* e o *Royal Institute of Technology in Stockholm, French Cetim (technical centre for mechanical engineers)*, construíram a chamada *ISO 13399, Cutting Tool Data Representation and Exchange* que define o *standard* da caracterização geométrica da ferramenta. Com a definição standardizada é possível importar e exportar geometrias de ferramenta entre softwares CAD/CAM facilmente e possibilitar um escolha mais consciente e adaptada ao trabalho a realizar independentemente da marca ou fabricante que adote este sistema [42].

Alguns exemplos da nomenclatura adotada podem ser lidos na figura abaixo (Figura 26 e Figura 27). A tradução oficial em português não está ainda disponível ao público à data da redação deste documento, no entanto estará muito em breve traduzida para todas as línguas oficiais da ISO. [42] Em anexo a este documento, encontra-se a lista completa de parâmetros da Norma ISO 13399.

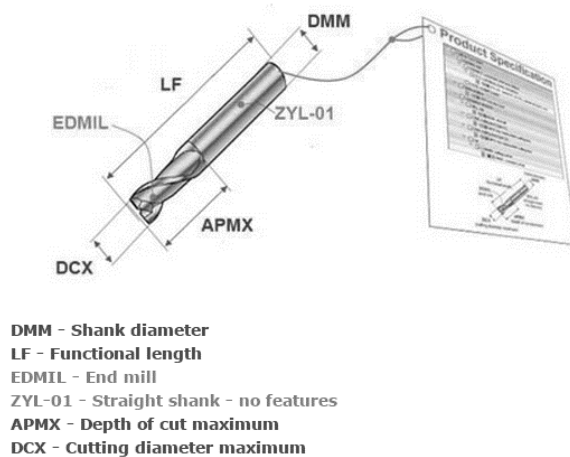


Figura 26 – Exemplo de parâmetros constituintes da ISO 13399. [42]

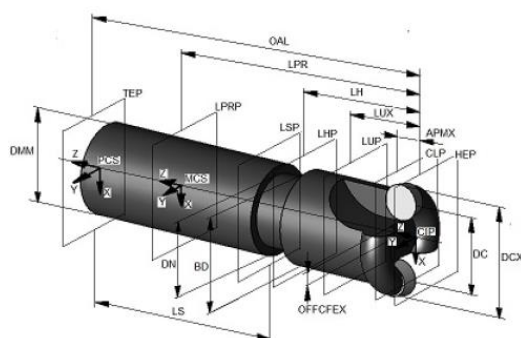


Figura 27 – Exemplo de nomenclatura retirado de uma das normas (*Single row, rounded end mill*). [42]

2.3.3 Materiais e revestimentos

No processo de corte por arranque de apra a obtenção do produto final é, tipicamente, barata em relação a outros processos de maquinagem. Existem muitos aspetos relacionados com o resultado final, e alguns deles podem ser previstos através de análises mecânicas ou térmicas, outros estão (por enquanto) além de qualquer previsão. Outros aspetos, como por exemplo a vida da ferramenta, rugosidade e acabamento final, temperatura gerada no corte entre outros podem ser relacionados com o material da ferramenta e a maquina [5].

Na seleção da ferramenta é importante o operador/programador ter noções básicas relativas aos materiais constituintes da ferramenta e da peça para poder escolher em consciência a melhor combinação das disponíveis em fábrica. Outros aspetos como a geometria da peça a maquina, condições de corte a utilizar e nível de acabamento superficial podem também influenciar na escolha do material da ferramenta.

No exercício de escolher o melhor material para determinada aplicação, os engenheiros/técnicos dependem muito do aconselhamento dos vendedores e fabricantes de ferramentas e dos ensaios e testes dos mesmos [4]. Muitas vezes os fornecedores não fornecem informação acerca do substrato de material coberto pelo revestimento e, além disso, revestimentos com designações iguais acabam por se comportar e ter desempenhos muito diferentes de marca para marca. Desta forma, a escolha do material e revestimento pode ficar

desapoiada de informação específica e pormenorizada acerca das características dos materiais e revestimentos das ferramentas de corte, no entanto existem pressupostos básicos que devem ser sempre seguidos:

Nesse sentido, a escolha do material da ferramenta deve incidir sobre:

- Materiais e revestimentos de dureza elevada para resistir ao desgaste da aresta de corte;
- Materiais com tenacidade elevada para resistir à quebra frágil e formação de lascas;
- Materiais quimicamente estáveis para resistir à oxidação e difusão excessiva da temperatura;
- Materiais resistentes às diferenças de pressão para evitar fraturas por choque térmico. [42].

Tipos de revestimentos e material da ferramenta

Existem diversos tipos de revestimentos e material de ferramentas, o mercado tem alargado a sua oferta na medida em que se vão desenvolvendo mais alternativas para aplicações específicas e mais métodos tecnológicos de revestimento e fabrico de ferramentas de corte.

Carbonetos cementados (WC-Co) foram desenvolvidos em 1923 e melhorados mais tarde com a adição de TiC e TaC. Em 1969, o revestimento por CVD (*chemical vapor deposition*) foi desenvolvido e aplicado em substratos de carbonetos, sendo este um dos processos de revestimento mais usuais na indústria [42]. Para efetuar o revestimento por CVD os inserts são colocados num forno com atmosfera maioritariamente de hidrogénio a 10% da pressão atmosférica. Os gases que contêm os elementos para o revestimento, tipicamente TiC, TiN e Al_2O_3 reagem quimicamente com o substrato à temperatura típica de 1000°C e pode repetir-se o processo para formar várias camadas (Figura 28 (a)).

O processo de revestimento PVD (*Physical Vapor Deposition*) é outros dos processos mais disseminados na indústria das ferramentas de corte. Existem numerosas variantes para este processo, contudo, de uma forma geral, todos utilizam a mesma metodologia geral. Os revestimentos são obtidos numa câmara de alto vácuo na qual se estabelece uma grande diferença de potencial entre o substrato e a fonte sólida dos elementos que vão formar o revestimento. Quando a diferença de potencial é suficiente dá-se uma descarga de plasma que evapora o material do revestimento, que é ionizado e atraído para os inserts a revestir formando assim o revestimento [5]. Estes tipos de revestimento deixam uma rugosidade inferior ao processo de CVD e portanto mais adequado para ferramentas de acabamento e precisão. Neste processo o inserto é coberto apenas com uma camada de revestimento (Figura 28(b)).

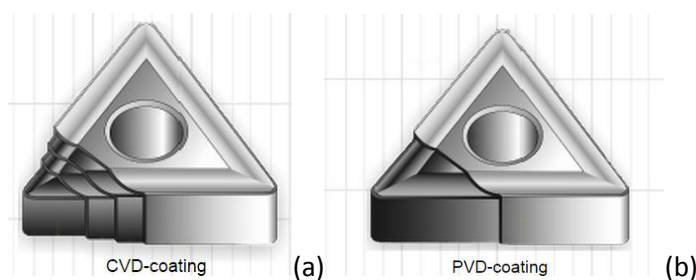


Figura 28 - (a) Revestimento CVD de várias camadas. (b) Revestimento PVD de uma única camada. [43]

Muitos outros revestimentos de ferramenta estão já disponíveis e disseminados pela indústria (Figura 29), como é o caso dos revestimentos de diamante ou nitrato de boro de alta dureza, para aplicações especiais.

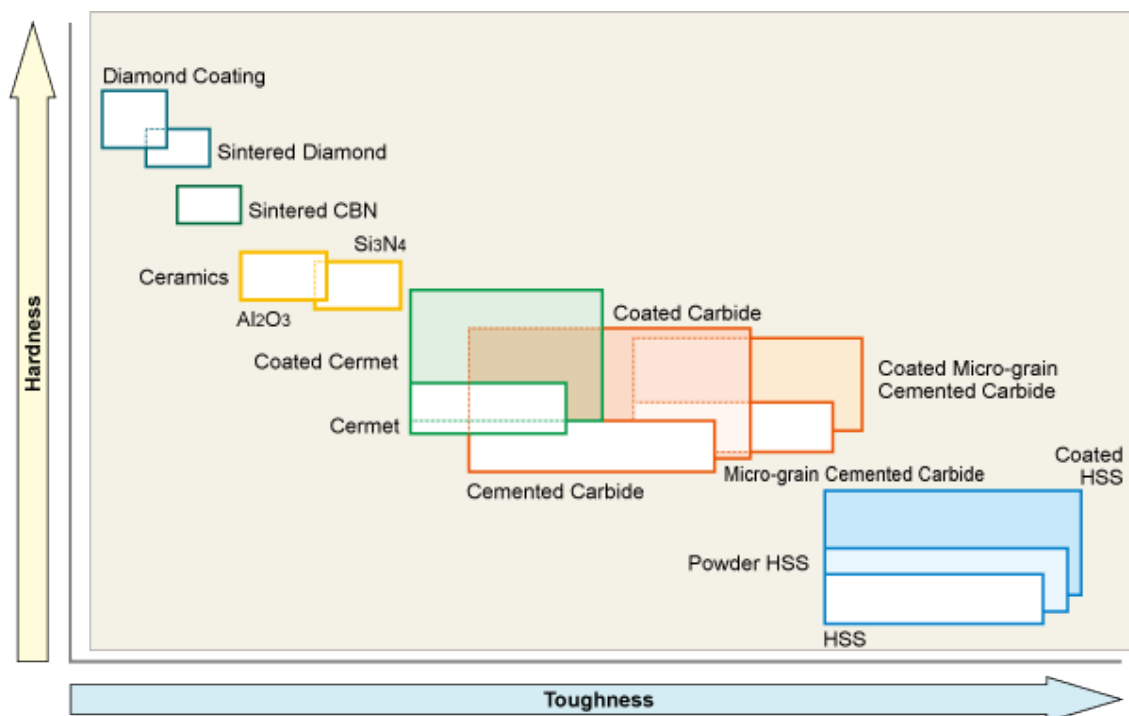


Figura 29 - Tipos de revestimentos de ferramentas de corte. [43]

Na seguinte tabela (Tabela 1) podem ser identificadas algumas características doutros tipos de revestimento.

Tabela 1 - Características dos revestimentos das ferramentas de corte. [43].

Hard Materials	Hardness (Hv)	Energy Formation (kcal/g·atom)	Solubility in Iron (%.1250°C)	Thermal Conductivity (W/m·k)	Thermal * Expansion ($\times 10^{-6}/k$)	Tool Materials
Diamond	> 9,000	-	Highly Soluble	2,100	3.1	Sintered Diamond
CBN	> 4,500	-	-	1,300	4.7	Sintered CBN
Si ₃ N ₄	1,600	-	-	100	3.4	Ceramics
Al ₂ O ₃	2,100	-100	≈ 0	29	7.8	Ceramics Cemented Carbide
TiC	3,200	-35	< 0.5	21	7.4	Cermet Coated Carbide
TiN	2,500	-50	-	29	9.4	Cermet Coated Carbide
TaC	1,800	-40	0.5	21	6.3	Cemented Carbide
WC	2,100	-10	7	121	5.2	Cemented Carbide

*1W/m·K=2.39 $\times 10^{-3}$ cal/cm·sec·°C

Todas as marcas de ferramentas, de uma forma geral, têm informação válida e clara acerca dos revestimentos usados nas suas ferramentas e aplicações. Cada uma delas têm uma nomenclatura própria para os diferentes revestimentos e graus de dureza das ferramentas, mas de uma forma geral, as marcas nucleares da indústria têm já o hábito de disponibilizar uma tabela de correspondências entre estas nomenclaturas para as principais marcas do mercado, pelo que é relativamente fácil ter acesso a informação desta natureza.

Material da peça

A indústria metalomecânica produz a uma grande variedade de materiais metálicos, e cada material destes tem as suas características específicas influenciadas pela presença de elementos de liga, tratamentos térmicos e superficiais, que dão origem a durezas e características de maquinabilidade bastante distintas. Estes fatores influenciam muito a escolha tanto da ferramenta como da geometria e parâmetros de corte da mesma. [42]

Para classificar estes materiais, de acordo com a Norma ISO, dividiram-se em seis grupos distintos:

ISO P – Aço, este é o maior grupo de materiais desde aço ao carbono até aço altamente ligado, ferrítico a martensítico. A maquinabilidade é relativamente boa neste grupo, dependendo, no entanto da dureza de cada aço.

ISO M- Aço inoxidável (com teor de Cr superior a 12%), podendo ser ligado com Ni ou MO. Aços como inox *Duplex* fazem parte deste grupo. Tipicamente são observadas altas temperaturas nos processos de maquinagem, desgaste de entalhe e aresta postiça. [45]

ISO K – Ferros Fundidos, geralmente fáceis de maquinar, formam aparas quebradiças e curtas. São altamente abrasivos para a ferramenta.

ISO N – Metais não ferrosos como o alumínio, cobre, latão. Apesar do grau elevado de abrasão de alguns materiais, é de esperar um tempo de vida superior ao aço, especialmente em ferramentas de aresta afiada.

ISO H- Grupo dos aços com durezas superiores a 45 HRC, aços endurecidos por tratamento térmico ou de superfície e ferros fundidos com dureza de 400 a 600 HB. Estes materiais são geralmente difíceis de maquinar devido a sua dureza elevada e geram grandes quantidades de calor durante o processo, podem ser ainda abrasivos.

Na Figura 29 encontram-se representadas as temperaturas típicas geradas durante a maquinagem dos diferentes grupos de materiais. É possível também observar as cores associadas a cada grupo de materiais. (P-Azul; M-Amarelo; K-Vermelho; N-Verde; S-Laranja; H-Cinza). Anexo a este documento encontra-se a tabela ISO completa de materiais, fornecida no Catálogo da *Iscar Cutting Tools*.

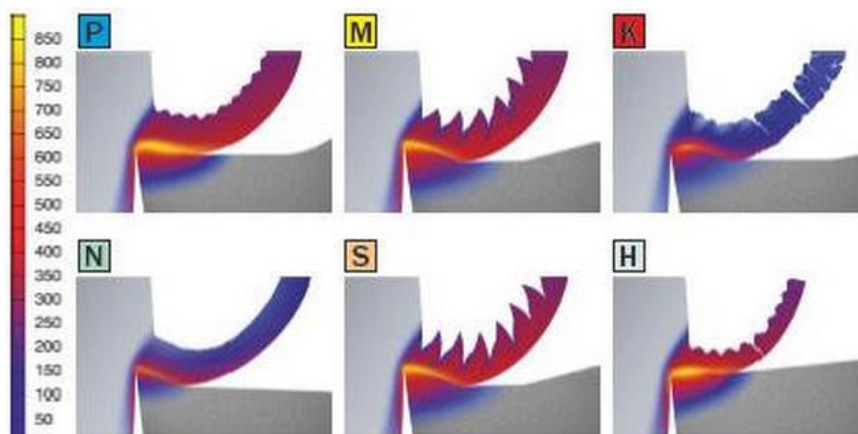


Figura 30 - Vista em corte de ferramentas de carbonetos a cortarem aço ao carbono. [42]

2.3.4 Desgaste das Ferramentas de Corte

O desgaste da ferramenta é o mecanismo que provoca pequenos defeitos na ferramenta de corte. O acumular desses mesmos defeitos é contínuo com a utilização da ferramenta, que eventualmente terá de ser substituída [5]. Existem vários tipos de desgaste, desde o desgaste mais típico da aresta até à falha total por quebra.

Todas as marcas de referência de ferramentas de corte têm como parte integrante da informação técnica disponibilizada a secção de resolução de problemas relacionados com o desgaste e avarias das ferramentas. Essencialmente é uma correspondência entre o tipo de falha da ferramenta e as condições ou parâmetros de corte a alterar de modo a evitar esse problema. Abaixo são apresentados alguns exemplos de modos de falha da ferramenta e respetivo procedimento para os minimizar (Figura 31).

Tool life problems	
Rapid flank wear 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce the cutting speed. • Increase the feed rate. • Climb milling.
Rapid notch wear 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce the cutting speed. • Increase the feed rate. • Increase the depth of cut. • Climb milling. • Change cutter positioning.
Chipping 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase the cutting speed. • reduce the feed rate. • Conventional milling. • Improve chip evacuation. • Change cutter positioning. • Minimize tool overhang. • Improve stability.
Comb cracks 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce the cutting speed. • Reduce the feed rate • No coolant. • Change cutter positioning.
Built up edge 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase the cutting speed. • Increase the feed rate • No coolant. • Climb milling. • Change cutter positioning.

Figura 31 - Problemas e soluções relacionados com a vida útil das ferramentas de corte. [50] Seco Tools

Vida da Ferramenta (Taylor)

O desgaste da aresta de corte, sendo este o desgaste típico e idealmente expectável num processo de maquinagem, pode ser traduzido pela curva de desgaste que traduz a relação entre a quantidade de desgaste da aresta de corte e o tempo (τ_m) de corte ou o comprimento total do percurso (L) de maquinagem (Figura 32).

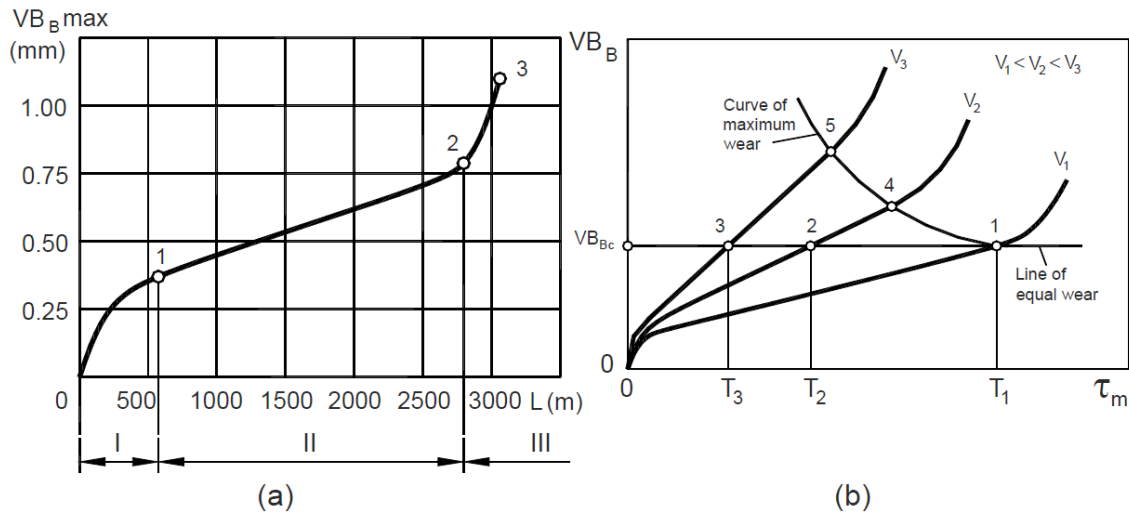


Figura 32 - (a) Desgaste da aresta de corte em função do percurso da ferramenta . (b) Desgaste da aresta de corte em função da velocidade de corte. Desgaste mais típico (*Edge Wear*) [4]

Influência da velocidade de corte (Equação de Taylor)

Segundo Taylor (1945), a vida da ferramenta depende apenas da velocidade de corte. Mais tarde com a evolução dos revestimentos e materiais dos substratos verificou-se que a profundidade do corte e o avanço também têm influência na vida da ferramenta. Assim a fórmula de Taylor foi atualizada para acomodar estes parâmetros:

$$V_c T^n f^a d^b = C \quad (2.7)$$

Onde d (mm) é a profundidade de corte e f o avanço (mm/rot). Os expoentes a e b devem ser encontrados experimentalmente e, tipicamente, para ferramentas de HSS, $n=0.17$, $a=0.77$ e $b=0.37$. Utilizando os parâmetros da equação (2.7), a fórmula de Taylor expandida pode ser escrita da forma seguinte:

$$T = C^{1/n} V_c^{-1/n} f^{-a/n} d^{-b/n} \quad (2.8)$$

A velocidade de corte continua a ser o parâmetro determinante para o cálculo do tempo de vida da ferramenta, no entanto os parâmetros acrescentados influenciam também este valor.

Como já foi mencionado anteriormente neste documento, o desgaste da ferramenta desdobra-se em vários fatores de influência, assim como cada fator tem as suas próprias componentes (como é o caso da força de corte).

Apesar da Fórmula de Taylor ser ainda largamente utilizada em estudos no âmbito da maquinagem de materiais metálicos, não existem processos experimentais recentes que provem a sua validade para os processos de corte modernos. Com o aparecimento de inúmeros materiais e revestimentos avançados seria cada vez mais pertinente a verificação atual do método. A vida da ferramenta depende de inúmeros fatores; da ferramenta (material e geometria); dos parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço, e profundidade do corte); das características e natureza do fluido de corte utilizado; do material da peça a maquinar (dureza, composição química, tenacidade e rigidez, homogeneidade); da operação de maquinagem (estratégia de maquinagem, ângulos de entrada e saída, raios de suavização e outras características do percurso), das características na máquina (robustez, estabilidade, precisão, planos de manutenção); entre outros parâmetros de maquinagem. Com esta quantidade de variáveis torna-se praticamente impossível de modelar a vida da ferramenta de forma universal. [4,15]

Por muita qualidade e características técnicas positivas que a ferramenta tenha irá sempre acabar por sofrer desgaste. Está claro que quanto mais tardio é o desgaste, menor é o número de trocas de ferramenta e menor é a quantidade de ferramentas de corte utilizadas. Apesar disto, as ferramentas com mais tempo útil de vida são, por norma, as mais dispendiosas e nem sempre o preço é diretamente proporcional à ao tempo de vida que estas ferramentas duram em relação a outras menos dispendiosas. Para a realidade de uma PME que tenha um operador em cada máquina CNC, em que a maioria das peças a produzir são por norma de pequena e média dimensão (caso da grande maioria das empresas de moldes), a compra da melhor e mais cara ferramenta pode não ser a opção mais correta. Na verdade devem ser utilizadas ferramentas de qualidade e características adequadas para cada tipo de trabalho. Contudo, como não há possibilidade de ter um stock de ferramentas tão variado por razões óbvias, é boa prática existir pelo menos duas gamas de qualidade nas referências de ferramenta mais utilizadas utilizar umas e outras, adequadamente.

2.4 Otimização dos Processos de Corte

A otimização de processos de fabrico por corte por arranque para tem sido um assunto de presença constante nas plataformas de investigação e estudos dedicados a esta área. As funções de objetivo neste processo de fabrico são: minimização do custo de produção, maximização do lucro, maximização da produção ou uma combinação adequada destes objetivos [4].

As funções objetivo utilizadas nos problemas de maquinagem têm como parâmetro nuclear o tempo de vida da ferramenta, obtido por intermédio da equação de Taylor e suas derivadas, assim os métodos baseados nesta formulação são tão adequados quanto a utilização da solução de Taylor já discutida neste documento na secção (2.3.4).

A junção de parâmetros como o custo da troca de ferramenta, custos de operação do equipamento ao cálculo permite obter modelos de otimização baseadas em vários objetivos

distintos tal como o custo mínimo, tempo ou produtividade máxima (medida em TRM ou nº de componentes fabricados por unidade de tempo) ou ainda vida da ferramenta máxima. É essencial determinar o objetivo central da tarefa de otimização para aplica estratégias que se adequem às metas estabelecidas. [4]

Na construção do modelo de otimização existem várias restrições que devem fazer parte da metodologia:

- Restrições na vida da ferramenta – A vida da ferramenta não deve ser nem muito alta nem muito baixa. Soluções que cumprem objetivos de máxima eficiência, tipicamente correspondem a valores equilibrados do tempo de vida (Figura 33).

- Restrições de acabamento superficial – Na maioria dos casos, é este tipo de restrição que limita a velocidade do trabalho em processos de maquinagem que, tipicamente é limitado por um valor máximo de rugosidade;

- Restrições de força máxima de maquinagem – A força de maquinagem pode estar limitada de acordo com os limites de estabilidade da máquina, ferramenta e/ou acessórios e do processo de fabrico propriamente dito;

- Restrições de potência de maquinagem – A potência deriva diretamente da força de maquinagem e esta restrição depende diretamente das caraterísticas da máquina onde se realiza o trabalho;

- Restrições de Vibração – A vibração excessiva pode afetar, por exemplo a qualidade superficial resultante de determinado processo de acabamento;

- Restrições de relações geométricas – A geometria da peça deve estar, tanto quanto for possível, devidamente adaptada às operações de maquinagem.

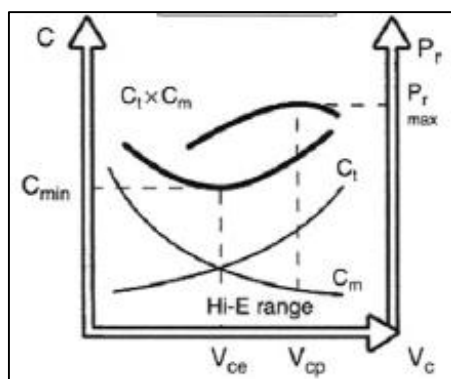


Figura 33 - Relação entre fatores de custo de maquinagem, custo de maquinagem e produtividade e eficiência. P_r-Produtividade; C-Custo de maquinagem (C_m-Custo máquina, C_t-Custo Ferramenta/aresta de corte); V_c-Velocidade de Corte; V_{ce}-Velocidade de corte económica1; V_{cp}-Velocidade de corte económica2. [13]

Existem várias formas de otimização do processo de maquinagem entre eles, os que são mais discutidos nesta área são os seguintes: [3]

2.4.1 Programação linear LPM (Linear Programming Method)

Na programação linear procede-se da seguinte forma. Determinar um conjunto de restrições para a função objetivo de um único ou mais objetivos, delimitar a zona de acuação (zona a sublinhado) e escolher a região (máxima ou mínima) que mais convenha aos objetivos a cumprir. No caso abaixo seria no ponto B, C ou D.

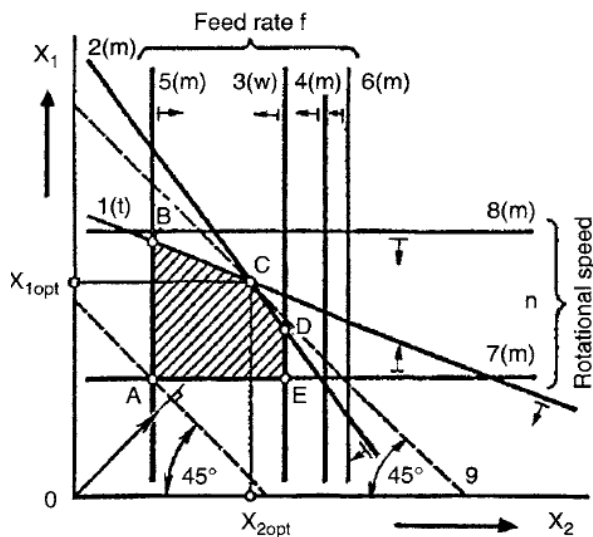


Figura 34 - Diagrama bidimensional de representação de restrições; m- máquina; T-ferramenta de corte; W-peça. [3]

Este método delimita a zona (ótima) de maquinagem com recurso a restrições relacionadas com limitações físicas e técnicas do sistema tais como as seguintes:

- Rugosidade mínima/máxima;
- Potência traduzida em força disponível máxima/mínima;
- Avanço máximo e mínimo;
- Rotação máxima/mínima;
- Tempo de produção máximo/mínimo;
- Limite de vibração;
- Outros fatores.

A função objetivo pode minimizar o tempo ou custo de produção ou ainda maximizar o lucro. O método descrito pode ainda ser aplicado em softwares de otimização linear de múltiplos objetivo adicionando as devidas restrições e parâmetros ao problema. Abaixo são apresentados alguns gráficos fruto deste tipo de resolução aplicados a algumas grandezas de processos de maquinagem.

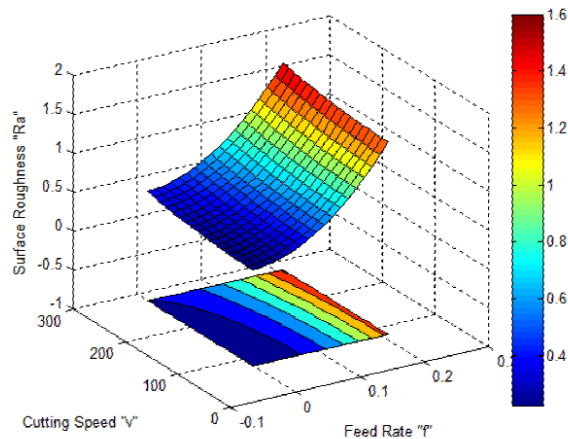


Figura 35 - Efeito da velocidade de corte e avanço linear na rugosidade de superfície com $d=0.75\text{mm}$. [26]

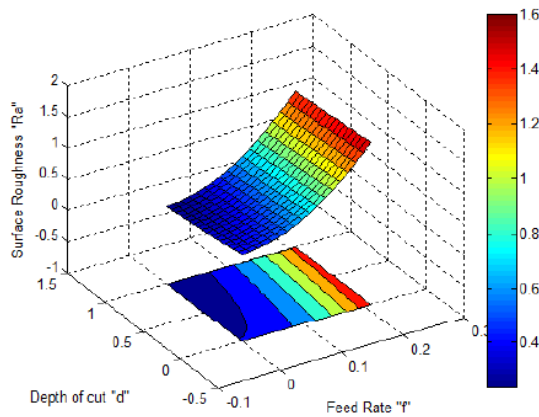


Figura 36 - Efeito da profundidade de corte (a_p) e da velocidade de avanço na rugosidade superficial com velocidade de corte (V_c)= 180m/s . [26]

2.4.2 Programação não linear

A otimização não linear utiliza métodos probabilísticos ou determinísticos, alguns estudos descrevem a vida da ferramenta através de uma distribuição normal calculando as condições de corte através deste parâmetro. Outros aplicam a distribuição normal às constantes que restringem o problema e assim definem a região de maquinagem com determinado percentil de probabilidade de sucesso [5].

Outras abordagens propõem soluções ao problema por intermédio da aplicação de programação geométrica polinomial onde são utilizadas várias extensões da equação de Taylor [24].

2.4.3 Métodos baseados em Inteligência Artificial

Inteligência Artificial

(Expert Machining Systems)

Um sistema diz-se que têm inteligência artificial, quando tem a capacidade de melhorar a performance do processo (de maquinagem) de forma automática através da informação retirada da captação do processo. [4]

Sistemas desta natureza são muitas vezes baseados na observação de todos os elementos (comportamento e própria fisionomia) dum técnico de maquinagem conhecedor do processo. De que forma um operador com conhecimento escolhe e prepara a máquina de ferramenta, de que forma escolhe planeia e organiza os parâmetros e processos de corte, e como é que observa o resultado da operação assegurando o sucesso do resultado replicando-o em trabalhos posteriores. Os constituintes sensoriais e de tomada de decisão são então replicados de certa forma num sistema computacional integrado. Um sistema destes pode, não só fazer a gestão de toda a informação ligada à maquinagem, mas também de todas as áreas de uma organização empresarial Figura 37. Estes são os chamados sistemas CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) que, tipicamente não são constituídos por uma rede de computadores ligada a uma única base de dados capaz de tomar decisões ao nível da do direccionamento de atividades de produção, gravar resultados e manter a informação organizada. Trata-se da computação do *design* e produção de produtos, distribuição e funções financeiras num sistema único coerente e coordenado. [8]

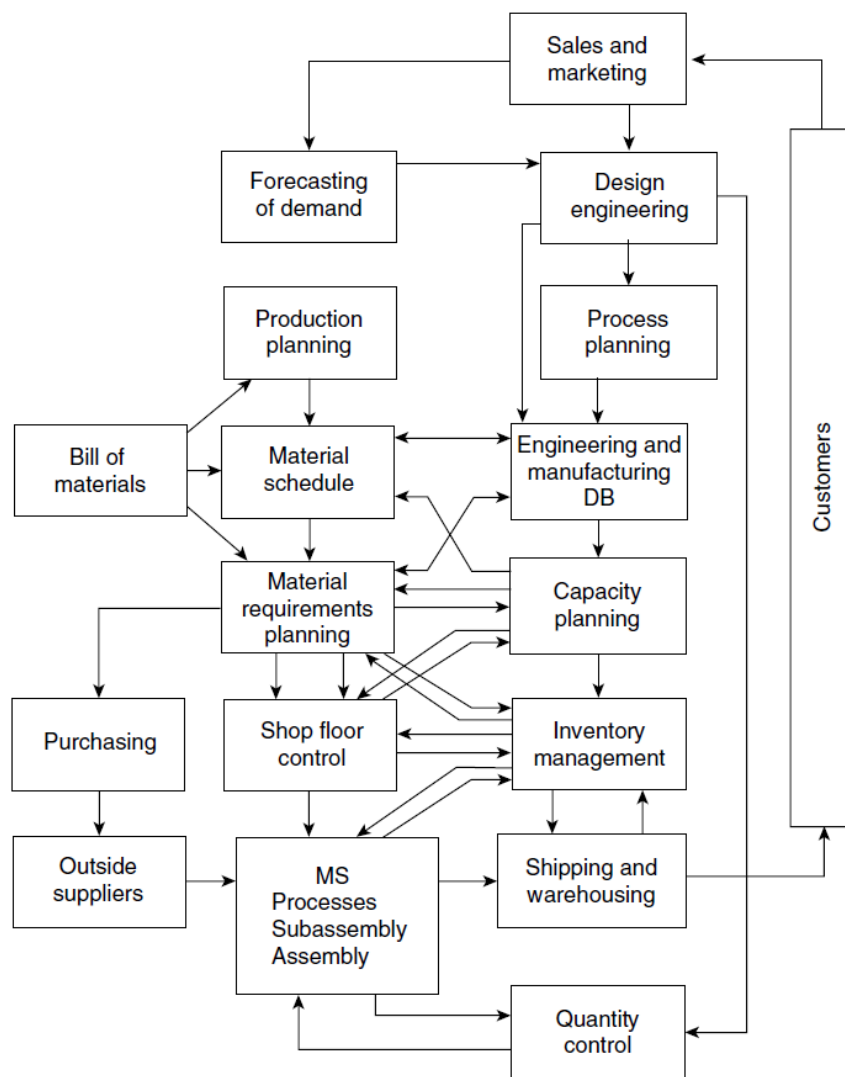


Figura 37 - Fábrica do futuro (*Factory of the Future*) com um sistema computacional de produção integrado CIM (*computer integrated manufacturing*). [8]

Otimização Baseada na Fuzzy set Theory

O método *Fuzzy* (ou teoria *Fuzzy*) foi inicialmente criado para representar a subjetividade ou parcelas de informação vaga da linguagem corrente. São reconhecidas cinco características da informação vaga: informação incompleta; não determinística; de múltiplos significados; incerteza estatística e incerteza não estatística. A chamada *Fuzziness* é a incerteza não estatística e a lógica *Fuzzy* é a ferramenta para lidar com essa informação [5].

Neste método é recebida informação em linguagem corrente com características de incerteza, esta informação passa pelo método de *fuzzification* o qual traduz a informação recebida utilizando termos linguísticos quantitativos tais como “muito macio”; “macio”; “médio”; “duro”; “muito duro” que pode ser representado tal como na (Figura 38). De seguida, informação assim traduzida passa por um mecanismo que aplica as regras pré-definidas definindo as regras *Fuzzy* (*Fuzzy rules*) como por exemplo “se o material é muito duro, então o avanço é muito baixo”, estas regras resultantes, definidas com intervenção do aconselhamento

de técnicos e engenheiros de maquinagem experientes, passam finalmente pelo processo de *defuzzification* que consiste em transformar as regras criadas em valores numéricos [3], valores estes chamados de grau de associação (*membership grade*) que correspondem no fundo à força dessa mesma regra, tipicamente valores de 0 a 1 (Figura 38) [12]. Para várias regras simultâneas, o procedimento consiste em agregar essas mesma regras encontrando o centroide da área formada pela junção de todas as regras [12]. O modelo “defuzzificado” que consiste em retirar regras da informação tratada anteriormente são mostrados na Figura 39 neste caso para a velocidade de corte de determinado processo de maquinagem.

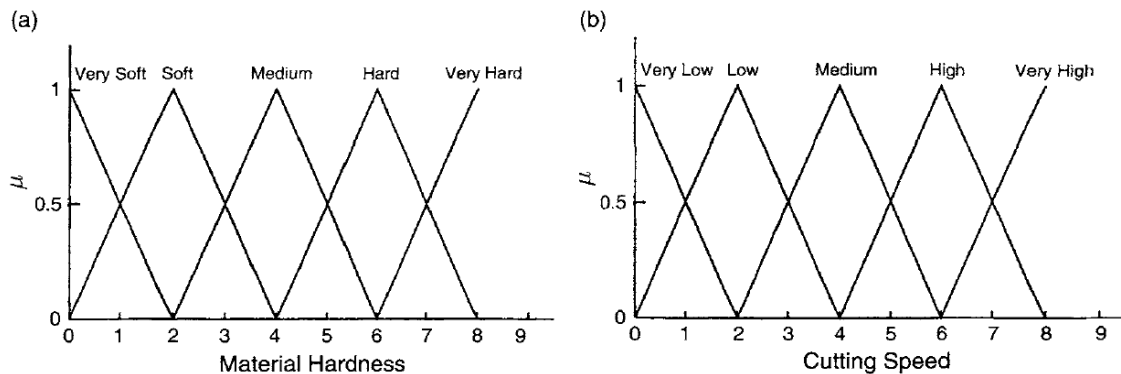


Figura 38 - "Fuzificação" da informação, atribuição de um valor de (afinidade) de 0 a 1 a cada termo linguístico.

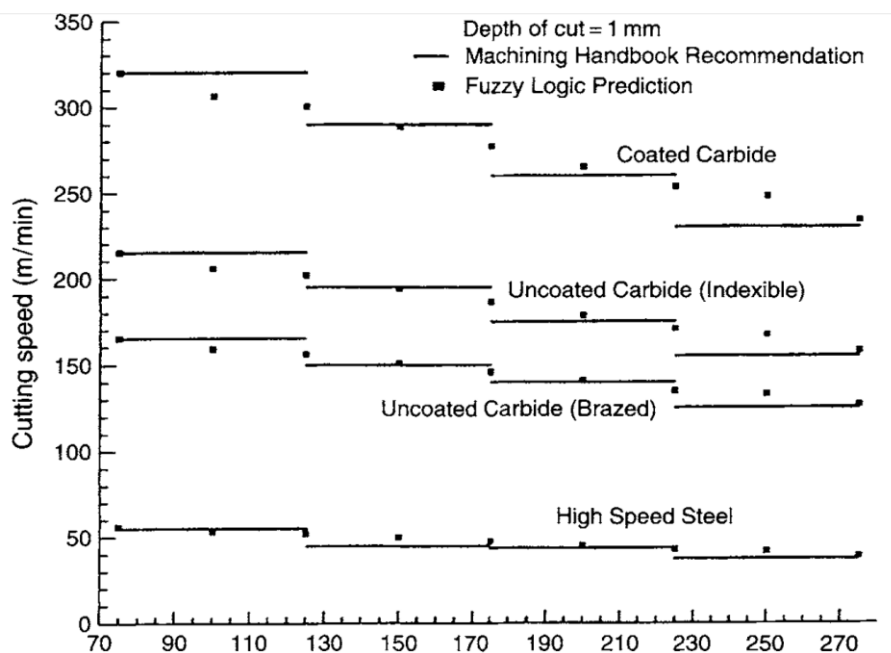


Figura 39 – Exemplo de modelo previsto para a velocidade de corte no aço ao carbono com 1mm de (ap) pelo método baseado na teoria Fuzzy. [3]

Sistema SMART

O sistema SMART (*Smart Assistant to Machinist*) é um exemplo de um sistema que integra já métodos ligados à teoria acima apresentada nos seus procedimentos de otimização de maquinagem. Trata-se um sistema de apoio à criação de processos de torneamento que consiste em quatro sectores distintos: uma base de dados, um módulo de seleção de ferramentas de corte, um módulo de escolha de parâmetros de corte e um módulo de aprendizagem, como está esquematizado na Figura 46.

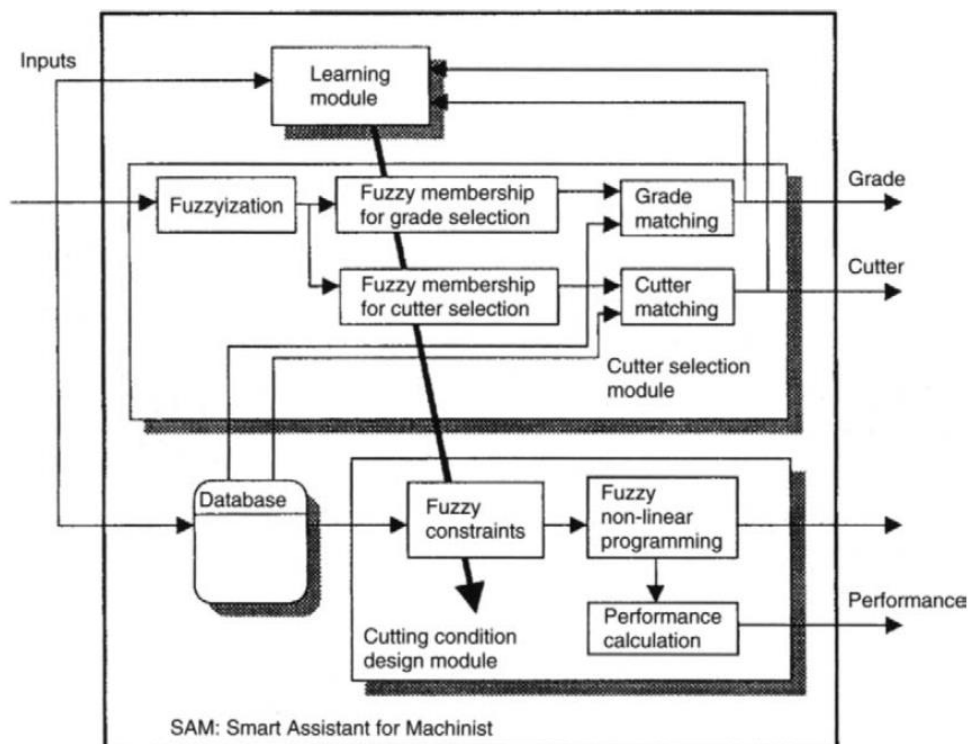


Figura 40 - Esquema de um sistema de otimização de maquinagem que integra a teoria Fuzzy para a criação de processo de maquinagem de torneamento. [3]

A base de dados consiste em quatro tabelas de dados: dados do Material da peça, das características das máquinas, dos parâmetros de corte e das ferramentas de corte. A escolha das ferramentas de corte é baseada na lógica Fuzzy na qual a escolha da ferramenta passa por três passos: primeiramente a informação é *fuzzificada*, de seguida o revestimento e o material da ferramenta é selecionado a partir de catálogos de marcas de referência de ferramentas de corte e verificada a disponibilidade destas ferramentas na base de dados de ferramentas de corte. A escolha de parâmetros de corte assenta na programação não linear Fuzzy e numa plataforma gráfica de interface para o utilizador. O chamado sistema de CIM tem funcionalidades tais com, quando inserido no módulo de aprendizagem, ferramentas de afinação das funções Fuzzy que permitem ao utilizador melhorar a performance do sistema [3]. Por exemplo, na seleção de uma ferramenta, quando o utilizador define um termo qualitativo para definir o tipo de trabalho, como “acabamento”, a função FUZZY toma um valor de associação de acordo com a equação abaixo:

$$\mu(MT_2) = \frac{0.8}{MT_1} + \frac{1.0}{MT_2} + \frac{0.8}{MT_3} + \frac{0.4}{MT_4} + \frac{0.0}{MT_5} \quad (2.9)$$

Onde MT_1 é acabamento extremo; MT_2 acabamento; MT_3 pré-acabamento, MT_4 é desbaste e MT_5 é desbaste pesado [3]. No sistema SAM's (*Smart assistant to Machinists*) existem mais de cem funções que definem a aplicação dos elementos a determinado item, baseadas em apoio documental, catálogos e opiniões de especialistas na área. Ainda no módulo de aprendizagem (ou afinação do sistema) podem ser atribuídos vários valores de afinidade (*membership*) para cada elemento a ser averiguado. É proposta uma abordagem ao problema plicando funções exponenciais para quantificar o grau de afinidade de alguns parâmetros (tais como a qualidade de superfície, desgaste da ferramenta, potência de corte, e tendência de quebra), método que revelou boa capacidade de prever resultados, quando comparados com os medidos em fábrica tais como a TMP (*Total Machining Performance*) [3].

A DB de um sistema típico de COS (*Computer Optimization System*) permite, não só introduzir informação relativa a condições e parâmetros de maquinagem, como informação relativa a estratégias, equipamentos e sequências de maquinagem e outras informações que o utilizador considere importante. Desta forma o sistema deve permitir uma otimização a 3 níveis:

- 1 Ao nível dos parâmetros de corte relacionando-os com um conjunto definido de condições de corte e ferramenta a utilizar;
- 2 Transversalmente pelo sistema de produção, melhorando sequências de fabrico de vários estágios e máquinas (se necessário) utilizando ficheiros de descrição de métodos (obtidos também no ponto1).
- 3 Determinar condições de corte ótimas das combinações possíveis de todos os parâmetros de maquinagem incluindo máquina, material da peça, material da ferramenta e geometria, fluidos de corte, entre outros fatores. As técnicas de otimização a este nível podem incluir equipamentos de recolha de informação a tempo real cujos dados são automaticamente processados pelo algoritmo de aprendizagem e inseridos nas funções de previsão afetas aos parâmetros medidos. (Sistemas com estas características têm já processos superiores de aprendizagem e controlo e fazem já parte dos sistemas baseados em IA descritos adiante no ponto 2.4.4).

2.4.4 Sistemas inteligentes de Controlo adaptativo (*Adaptative Control Systems*).

Os sistemas de controlo em adaptação/adaptativo (Figura 41) tem várias vertentes:

- ACC: (*Adaptative Control Constraint*) - são seleccionados o avanço e a rotação apenas de acordo com as restrições do processo de maquinagem em questão;
- GAC: (*Geometric Adaptive Control*) - tem o objetivo de obter a máxima precisão dimensional ajustando a trajetória da ferramenta de acordo com a flexão da ferramenta (devido às forças de maquinagem) e às variações dimensionais da peça (devido ao aumento da temperatura);

- VAC (*Vibration Adaptive Control*)- é o controlo para a minimização das vibrações e das fraturas ou *Chatter* provocadas pela ressonância das vibrações.

- ACO: (*Adaptive Control Optimization*) - São procurados valores de avanço e rotação que maximizem determinado critério como o mínimo custo ou máxima produção;

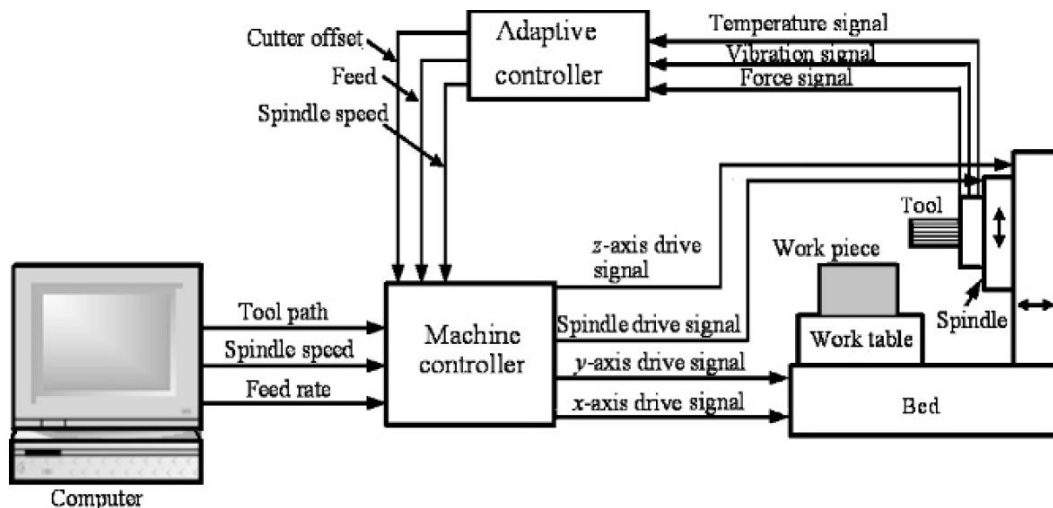


Figura 41 -Maquinagem inteligente: Controlador adaptativo com entradas de sinais de Temperatura Vibração e Força. [12]

Redes Neurológicas Artificiais (Artificial Neural networks)

Da mesma forma que os cinco sentidos de um técnico de maquinagem são replicados através de sensores de óticos, de vibração, térmicos, etc, o raciocínio e exercício mental de tomada de decisão tem também, de alguma forma de ser replicado.

A designação “Rede Neuro Artificial” é o nome que se dá à tentativa de modelar o processo de comunicação neurológica própria da biologia.

As redes neuro-artificiais podem ser classificadas de acordo com a sua arquitetura e método de aprendizagem. As redes mais comuns são as “*feed forward neural networks*” (redes de alimentação para a frente); “*feedback neuro networks*” (redes de realimentação); e “*self-organizing networks*” (redes de podem tomar a forma das duas anteriores automaticamente conforme as necessidades). Nas primeiras o tipo mais comum é a “*multi-layer perceptron*” (MLP) que consiste num conjunto de camadas cada uma com um conjunto de neurónios (Figura 42). A primeira camada é conhecida como a camada de entrada (*input layer*) que recebe os conjunto de sinais exteriores, a camada intermédia é a camada ocultada (*hidden layer*) que no caso das MLP pode ser mais do que uma, esta camada processa a informação internamente, informação esta que não serve ainda para passar ao exterior, finalmente a camada de saída (*output layer*) é a camada que faz o processamento final e passa a informação ao exterior. A regra geral é

construir uma rede neurológica (*neural network*) com menos camadas e neurónios possível. Nas redes neurológicas aplicadas alguns *outputs* de determinados neurónios são *inputs* de outros neurónios de camadas anteriores, desta forma o sinal pode avançar ou recuar ao longo da rede, estas são as chamadas redes de propagação em vários sentidos (*back propagation networks*).

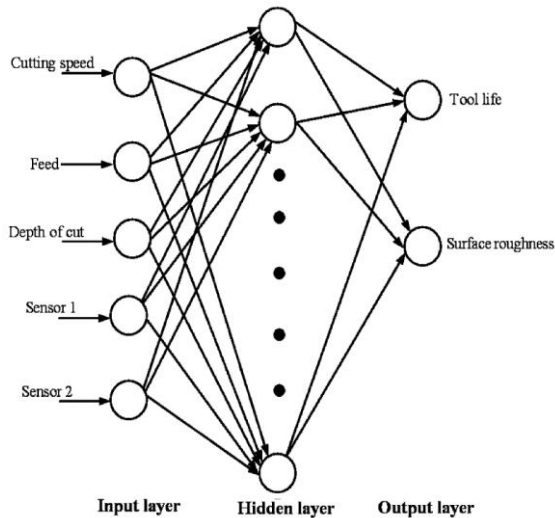


Figura 42 - Esquema de uma rede alimentação de um sentido. [4]

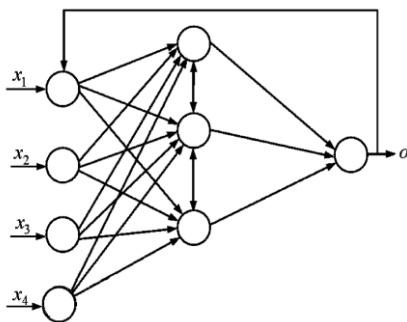


Figura 43 --Redes de propagação em vários sentidos.[4]

Step NC e Maquinagem Inteligente

O conceito por de trás do STEP NC (*Standar for Exchange of Product model data*) for *Numerical Control operations*, permite a uma base de dados de peças servir diretamente como informação de maquinagem completa para as máquinas CNC, deixando de ser necessários os ficheiros do percurso da ferramenta, códigos G e M e processos de pós processamento [85]. Este formato é já utilizado em diversos *softwares* CAM, no entanto, esta utilização ainda está muito aquém da total implementação no seio dos softwares em geral e a nível da implementação efetiva na indústria [85].

Existem sistemas inteligentes que recorrem à utilização de modelos de regras *Fuzzy* já sincronizados com a linguagem STEP-NC (utilização do STEP-NC e módulos step NC com possibilidade de atualização, aprendizagem e controlo a tempo real). A informação retirada do

sistema inteligente vai atualizar os ficheiros STEP NC diretamente nos comandos de percurso da ferramenta, desta forma, com implicações diretas e automáticas no fabrico das peças [28].

Sistemas inteligentes com controlo e aprendizagem em tempo real de multiobjetivo e com incorporação de funções de “fuzzificação/desfuzzificação” para o tipo de informação vaga de conhecimento, foram já adaptados a sistemas de optimização de maquinagem na indústria. Um exemplo de um sistema com estas capacidades é o chamado AECopt. Este sistema oferece três funções distintas, compreensão das capacidades da máquina, controlo instantâneamente adaptável dos parâmetros de maquinagem e adaptação em tempo real dos ficheiros afetos a estes parâmetros. O controlo da máquina CNC teve de ser reestruturado para suportar as funções descritas acima do AECopt (optimização de processo, monitorização e controlo continuos) cuja estrutura é apresentada abaixo na Figura 44 [28].

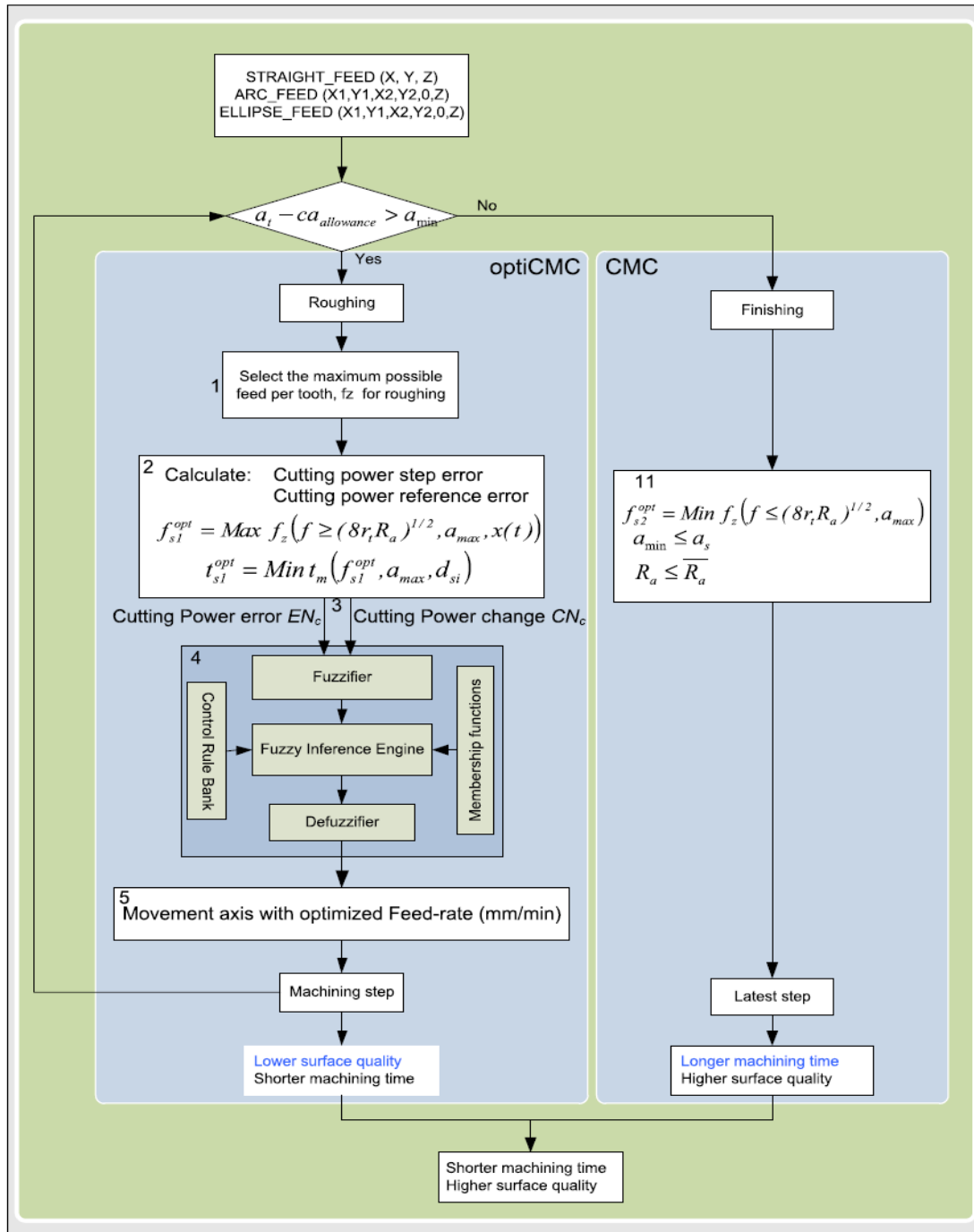


Figura 44 - Exemplo de otimização da velocidade de avanço através de um algoritmo “neuro Fuzzy” - Aplicação de um sistema ANFIS à maquinagem. [28]

Inúmeras marcas oferecem já ferramentas com capacidade de modelar problemas com funções em realimentação *Neuro-Fuzzy* aplicadas nas mais variadas áreas (médica, indústria química, financeira, aeronáutica, robótica (Figura 45)). Um das primeiras ferramentas foi o MATLAB (que inclui módulos especializados de construção de sistemas ANFIS [48].

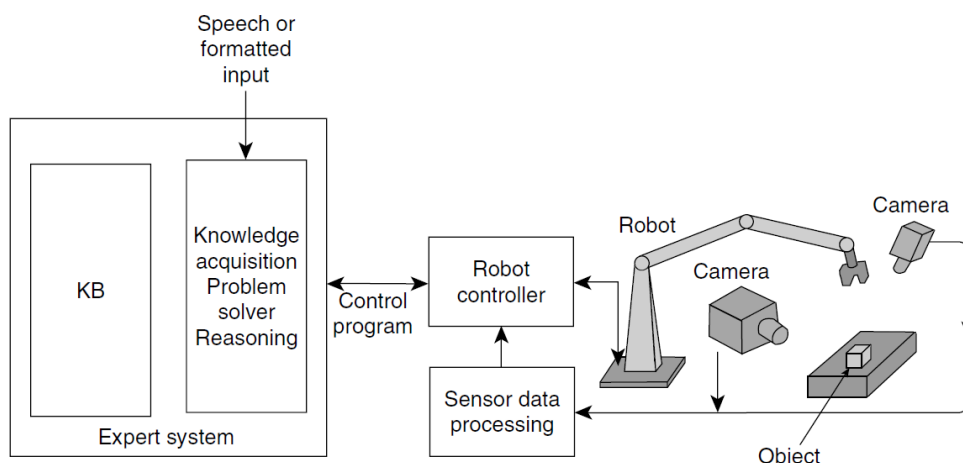


Figura 45 - Sistema inteligente de fabrico por maquinagem robotizado (*Knowledge base systems for machining operations*)
[8]

De uma forma geral todos estes sistemas são baseados na importância do aproveitamento e reutilização do conhecimento e arranjam sistemas de incorporação do mesmo nos seus controladores e algoritmos, pelo que, a chamada base de conhecimento (*Knowledge-base* ou *Knowledge Database*) faz sempre parte dos sistemas revistos na bibliografia e artigos afetos ao tema. Sistemas com vários níveis de complexidade, considerados inteligentes (com sistemas de aprendizagem e aplicação do conhecimento automáticos) ou não inteligentes (utilização e estruturação manual do conhecimento) estão aptos a aproveitar o conhecimento adquirido anteriormente e é prática cada vez mais usual na indústria. As perspetivas transmitida nos capítulos anteriores permitem localizar uma KDB na estrutura de sistemas utilizados para a otimização de processos a nível industrial (os mais avançados que foram revistos). A construção, manutenção e características de uma base de conhecimento são temas a ser abordados na secção seguinte.

2.5 Bases de Conhecimento (para a Maquinagem)

Base de Dados de Conhecimento - (*Knowledge Database*).

A economia do conhecimento tem-se tornado o assunto de maior importância do século XXI. Conhecimento é a combinação de informação e experiência, contexto, interpretação e reflexão [80]. A medida da importância do aproveitamento do conhecimento é proporcional à quantidade de informação contida do conhecimento dos seus colaboradores que, tipicamente tem tendência a crescer com a antiguidade da empresa ou instituição.

Esta nova forma de trabalho constitui não só uma oportunidade, como um grande desafio para as organizações contemporâneas direcionadas para a produção rápida de artigos e peças de tipologia “OKP - *One-of-a-kind-Product*”, onde, em certa medida se insere a indústria de produção de moldes [livro preto-verificar], mais precisamente a produção de peças por CAM e CNC constituintes das buchas e cavidades destas ferramentas [80].

Definir a melhor estratégia, ferramenta, parâmetros de corte e ordem de operações para maquinar um aço de determinada dureza e determinada maquinabilidade pode ser uma tarefa complexa. Distinguir e adequar estes elementos todos de acordo com os objetivos e estratégias da empresa e balizar a informação em forma de conhecimento que estão por detrás dos processos levados a cabo com sucesso nesta e noutras organizações são tarefas complexas de levar a cabo. [86]

A resposta a estas questões tem crescente importância na indústria de fabrico de peças por maquinaria. O conhecimento seguido para responder a tais questões reflete as melhores boas-práticas, as experiências e preferências seguidas no seio de uma organização, estas são únicas adaptando-se aos equipamentos, ferramentas, pessoas e estruturas próprias de cada empresa. O conhecimento profundo dos elementos mencionados é de elevada importância para promover a eficiência na fabricação de determinado artigo e para promover cada vez mais a standardização de trabalhos de maquinaria, poupando tempo e recursos [3]. Além do referido é necessário notar que este conhecimento tem de ser atualizado sempre que possível e comparado com outros procedimentos com sucesso.

Na indústria de moldes nacional, a maior parte de empresas são de pequena ou média dimensão e são predominantemente do tipo *“assembly-to-order”* ou *“make-to-order”* que dependem muito da capacidade de produzir produtos inovadores, renovados e melhorados [80]. Com as limitações de recursos típicas deste tipo de empresas, é essencial uma gestão eficaz do aparato industrial instalado e pessoal disponível para maximizar a rentabilidade e produtividade destes recursos. A saída de engenheiros ou técnicos para outras empresas ou por reforma é também comum no âmbito destas empresas, estes agentes levam com eles conhecimento e experiência valiosa à saúde e sustentabilidade de uma empresa (PME). Um sistema capaz de gravar, localizar e extrair conhecimento é essencial para manter os níveis de habilitação da empresa em cumprir os requisitos do cliente e indústria [80].

O papel deste tipo de sistemas é simples, e traduzido da melhor forma por Bill Gibbs (2000), CEO da *Gibbs ans Associates (California)* e fornecedor do software *CAM GibbsCAM*: *“This is not na attempt no tell the machinist how to machine a part. Rather, its a way to preserv the machinist’s know-how so it can be implemented in similar situations”*. Gibbs acrescenta ainda a importância que tem, no seio de uma empresa, não cair na automação e estagnação de processos relacionados com a programação CAM que podem ser trazidos por este tipo de sistemas. O poder de decisão final tem de estar do lado do colaborador/programador [86].

2.5.1 Constituição de um sistema apoiado numa KDB

Segundo alguns autores [ref.35 por 80] forma principal de criar valor de uma empresa que desenvolve produtos *“OKP”* é a construção e alimentação eficaz de uma Base de Conhecimento *KDB system* [80]. Este sistema guarda informação relativa ao processo que seja considerada significativa para o desempenho do mesmo desde o projeto à própria fabricação.

Uma das características essenciais do sistema é possibilitar a reutilização da informação introduzida de forma fácil, apostando em ferramentas de consulta intuitivas e simplificadas, com períodos de adaptação o mais curtos possível. Torna-se também essencial uma boa base de gestão do sistema, neste tipo de empresas os sistemas (KDB) têm tendência a sofrer contínuas mutações e alterações [80] e, além disso, pode não existir a possibilidade de colocar um colaborador ou equipa exclusiva à gestão deste sistema ou investir quantias avultadas sua

contratação pelo que, tal tarefa, tem de ser pouco dispendiosa em tempo e recursos. Existem já vários sistemas de gestão de conhecimento disponíveis comercialmente, tais como CAPP (*Computer Aided Process Planing*), PDM (*Product Data Management*) e ERP (*Enterprise Requirement Planning*) no entanto os custos de aquisição, implementação e formação de colaboradores para estes sistemas são demasiadamente avultados para a normal estrutura de uma PME [80].

Os constituintes gerais de uma KDB para implementação a uma PME podem ser traduzidos em apenas três, como se pode observar na figura abaixo (Figura 46).

Os constituintes gerais de uma KB para implementação a uma PME podem ser traduzidos em apenas três, como se pode observar na figura abaixo (Figura 46).

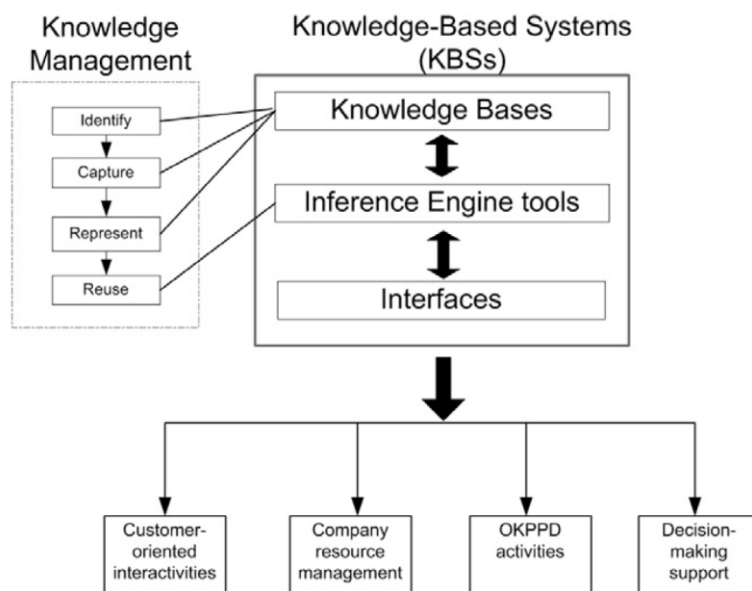


Figura 46 - Elementos de uma típica KB, utilização de um sistema KM e KBSs [80].

A KDB propriamente dita: um servidor ou servidores de dados disponíveis a todos os clientes (internos ou externos) a informação nela contida deve ser, na medida do possível estandardizada, não só para possibilitar uma consulta futura mais eficaz, como para se compatibilizar com os sistemas recentes de troca de informação (como é o caso de informação CAD/CAM (optar por sistemas de informação baseados em aplicações STEP NC).

Ferramentas de inferência: Estas têm de ser eficazes, com precisão de consulta elevada e adaptadas da melhor forma às estruturas da KDB (Figura 47). Para maximizar a capacidade de inferência. Alguns autores [80] desenvolveram sistemas baseados em *Fuzzy Logic* (abordadas nas secções anteriores deste documento) que permite lidar com uma quantidade de requisitos não quantificáveis mas necessários à pesquisa eficaz da informação que se pretende, apesar das

vastas potencialidades descritas pelos autores, não é conhecida nenhuma aplicação comercial deste método.

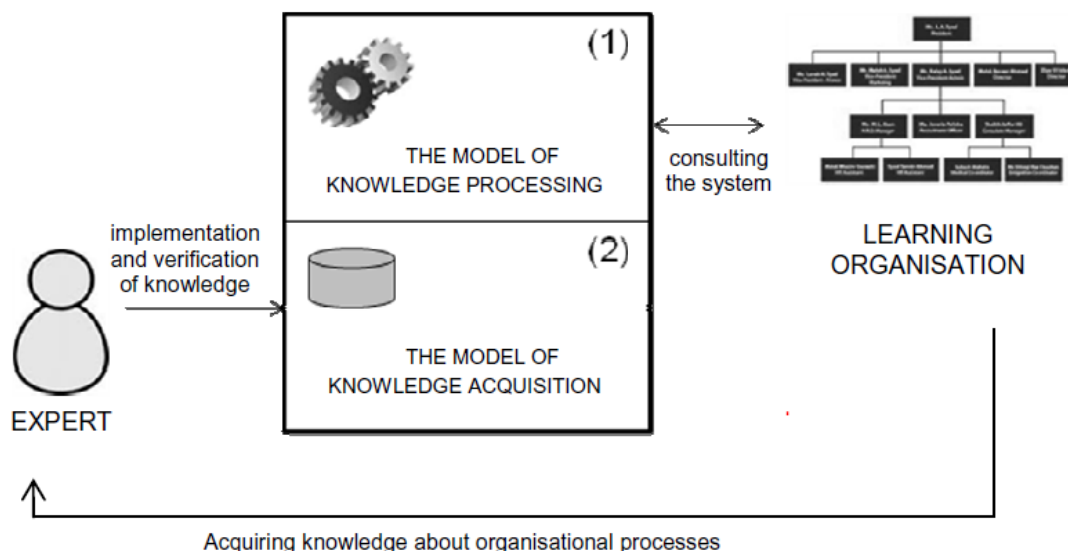


Figura 47 - Modelo geral da aquisição e processamento do conhecimento [8].

As interfaces

As plataformas de interação, seja de inserção ou consulta de dados devem ser simples, intuitivas e flexíveis, oferecendo sempre que possível a máxima adaptação à informação em questão e aos intervenientes como é largamente explicado na secção *Extracting Knowledge from Experts* [93]. Para proceder à construção de tais interfaces, existe um grande número de artigos e quantidade de informação, o mercado para o desenvolvimento de interfaces é cada vez mais vasto, já que entra na abrangência do desenvolvimento visual de aplicações por exemplo para a área de consumo da gigante WWW de sites e aplicações. Tornando à abrangência da PME é essencial que tal aplicação seja simples, prática e intuitiva cumprido todas as funcionalidades para as quais foi construída [93].

Outros constituintes secundários.

BUFFER – Local temporário do dados suscetíveis a verificação

A necessidade de um “Buffer” parte da possibilidade da não qualidade da informação/conhecimento recolhida ou presente na KDB. Trata-se de uma etapa intermédia entre a recolha e a disposição e organização da informação, tudo isto numa fase anterior a disponibilização da mesma. A disponibilização direta de informação inferida para determinado sistema pode trazer problemas do ponto de vista da repetição, qualidade e discordância. Além disso a informação recolhida apenas internamente pode ser melhorada por fontes externas ao longo do tempo, estas fontes sofrem mutação constante que têm de ser averiguadas consultadas constantemente para desta forma assegurar a qualidade da informação posta a

disposição dos utilizadores. O mecanismo de verificação da informação está a cargo da equipa responsável pela KDB. Esta informação fica armazenada num local distinto aguardando verificação adequada antes de ser disponibilizada (Figura 48).

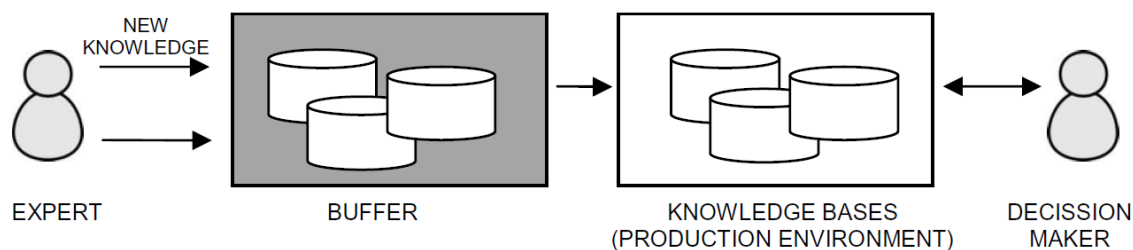


Figura 48 - Buffer local onde a informação é armazenada antes de ser verificada. [29]

2.5.2 Abrangência da Utilização de uma KDB

A abrangência da utilização do registo do conhecimento é extensível a todas as áreas onde é possível construir conhecimento. No entanto a utilização deste tipo de sistemas prende-se, não só com a capacidade de registar e reutilizar o conhecimento, como também da pertinência dessa reutilização. As áreas onde estas características se verificam tipicamente são setores onde o conhecimento é de maior valor acrescentado de maior complexidade e de mais difícil aquisição, tal como as seguintes:

Fase de Design

Um sistema KDB aplicado à fase de *design* lida com uma grande quantidade de informação e problemas *Fuzzy* recorrentes, além disso é necessário ter em conta especificações do cliente, custo do futuro produto e parte entre outras informações. São estas características que tornam a gestão da informação e conhecimento numa tarefa de elevada dificuldade, e também por isso que é nesta fase que se conhecem mais aplicações de sistemas de KDB via WEB interempresas ou internos a beneficiar as empresas que nelas apostaram [80].

Fase de Planeamento (Process Planing)

Os sistemas de PP - *Process Planing* determinam a melhor sequência de operações consoante o custo, tempo, recursos, e outras variáveis triviais [80]. Faz parte do processo de PP a calendarização das operações pelo aparato industrial disponível, sendo este o problema que é mais difícil de automatizar no seio de uma empresa OKP PME.

Fase de Fabrico Manufacturing

A aplicação de sistemas de KDB tem várias vertentes neste no âmbito da fabricação, gestão de recursos, análise de desempenho de processos fabrico e produção ágil [80, 88].

A importância que assuntos como a produção ágil e a gestão para a máxima eficiência dos recursos instalados têm nas empresas, que deriva de conceitos originais da *Lean manufacturing* e tem vindo a crescer à medida que a possibilidade de customização de produtos também cresce dentro da oferta que estas empresas disponibilizam [80]. O aproveitamento de recursos e tempo tem importância provadamente óbvia no mercado cada vez mais competitivo e exigente. É crucial melhorar o desempenho dos processos de produção com recurso a conhecimento adquirido ao longo do tempo. A utilização deste conhecimento agiliza todo o processo, mesmo que se registem e obtenham apenas linhas gerais de informação relacionada com o mesmo.

2.5.3 Construção de uma Base de conhecimento.

A angariação, estruturação do registo e reutilização do conhecimento deve ser feita cuidadosa e metodicamente. Existem várias abordagens a este problema bem como muitas referências e estudos gerais e específicos de metodologias possíveis de utilizar.

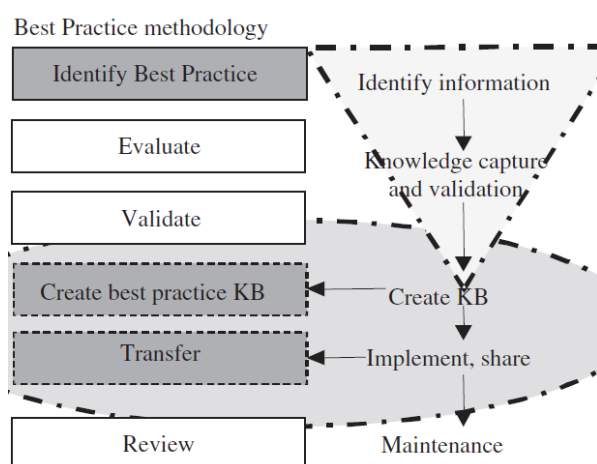


Figura 49 - Gestão do conhecimento e de boas práticas (*Best Practice Methodology*). [30]

Para proceder a uma gestão da recolha e partilha do conhecimento e boas práticas eficaz é necessário saber identificar as ações que são consideradas como boas práticas e, igualmente importante, identificar e associar a envolvente e condições às quais é apropriada a utilização dessas boas práticas. Sendo assim uma base de conhecimento tem de prestar informação sobre os procedimentos de boas práticas mas também os elementos à implementação da mesma. Isto torna o conhecimento mais fácil de encontrar e reutilizar [30]. O potencial utilizador (colaborador) pode encontrar a informação do que necessita através de uma ou um conjunto de características associadas diretamente à boa prática ou então associadas às condições de implementação. O colaborador que introduziu as condições de boas práticas pode ser informado da utilização e resultado das mesmas. Este tipo de práticas ajuda na difícil tarefa de partilhar e promover a utilização do conhecimento associados à escolha, utilização e desenvolvimento de boas práticas no seio de uma empresa competitiva.

Criar uma Base de conhecimento para uma empresa apresenta ainda mais desafios. A transferência da informação da boa prática ("*best practice information*") tem de ser efetiva e colocada exatamente onde é necessária, portanto, a distribuição tem de ser feita da forma mais

e eficaz e rápida possível. Além disto a organização tem de desenvolver formas de aprender através do conhecimento adquirido, mais rápido e de forma mais criativa que as empresas concorrentes, desenvolvendo assim estados de sustentabilidade mais sólidos e duradouros [30].

O conhecimento pode surgir e várias fontes, colaboradores com vasto conhecimento na tarefa em questão e, além disso, como já foi referido, de fontes exteriores. Uma das técnicas de extrair conhecimento de fontes exteriores é a técnica de “Benchmarking” que não é mais que pesquisar pelas melhores boas práticas na indústria, Robert Camp (ano) refere-se a este conceito como “*Benchmarking is the search for best industry practices that will lead to superior performance*” [30].

O desempenho de determinado processo ou serviço pode ser avaliada por intermédio da criação de documentos e relatórios de desempenho que se baseiem em indicadores relacionados com os objetivos traçados. Tendo uma métrica para avaliar o desempenho, as boas práticas podem ser avaliadas e implementadas medindo assim os seus efeitos. O registo destas boas práticas deve ser acompanhado então, também, de informação relativa ao seu desempenho (Figura 50).

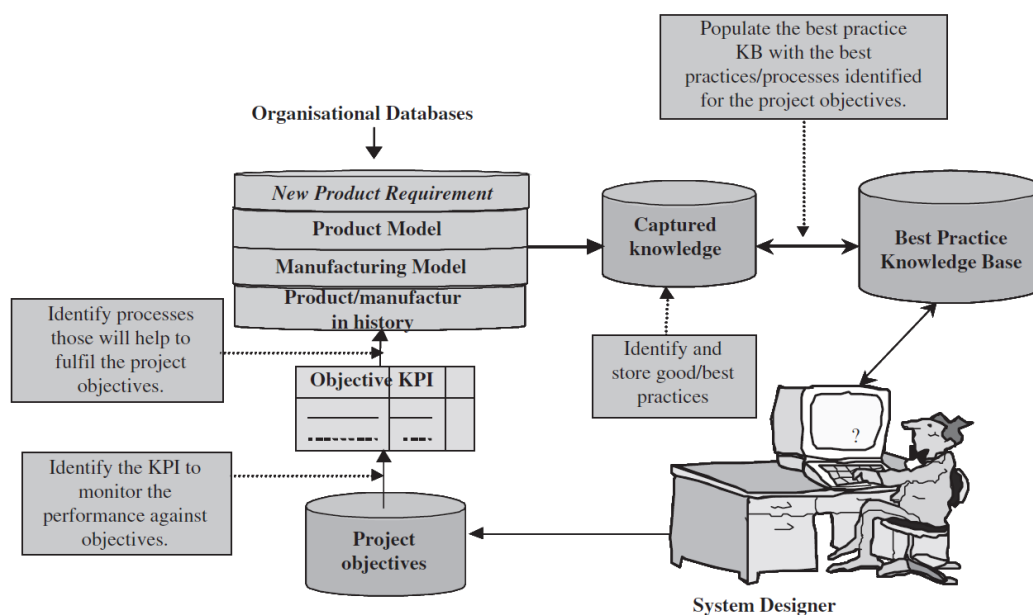


Figura 50 - Exemplo de esquematização de metodologia para identificar e armazenar conhecimento boas práticas. [30]

2.5.4 Metodologia proposta para a criação de uma KDB

Identificar objetivos

Não faz parte da construção da KDB mas têm de estar definidos, de outra forma não estaria desenhado o caminho a percorrer do qual faz parte a construção da KDB.

Identificar indicadores chave de desempenho (KPIs - Key Performance Indicators)

O sucesso e a continuidade de uma organização depende do seu desempenho, que pode ser definida como “a capacidade da organização de realizar os objetivos traçados”. Sendo assim é de extrema importância que haja formas eficazes de medir a concretização desses mesmos objetivos.

Os *KPIs* são importante para todos, dentro da organização, vai permitir comparar o estado dos processos antes e depois da implementação de novas práticas permitindo assim classificá-las.

Os *KPIs* devem ser definidos logo no início do projeto, podendo ser atualizados mais tarde e devem seguir os seguintes critérios [30]:

- Identificar as metas (o que se está a tentar atingir);
- Associar as metas com pontos-chave da estratégia (o que é mais importante);
- Identificar as métricas, (o que vamos medir e como);
- Prever os resultados (o que vamos alterar);
- Construir compromissos (quem vamos envolver no projeto);
- Planear o próximo passo (onde iremos a partir deste projeto).

Identificar Boas práticas

Identificar Boas práticas (Figura 51), medindo não só as melhorias alcançadas, como também, ter em consideração os efeitos negativos da implementação das mudanças.

Com os *KPIs* definidos, estes podem ser relacionados com os processos existentes, as práticas são então priorizadas de acordo com os resultados obtidos. De seguida, para cada prática escolhida, são avaliados os elementos de implementação necessárias para a colocar em utilização, ou seja, as condições que têm de ser reunidas para realizar a ação.

- Bons processos/ práticas
- Elementos de implementação
- Lições aprendidas em projetos passados

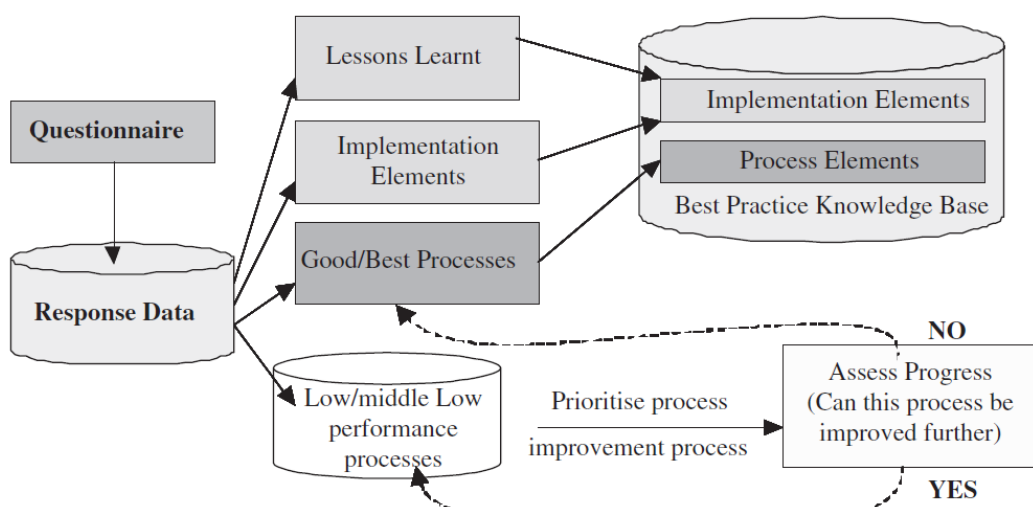


Figura 51 - Identificação e formulação d e uma boa prática. [30]

Preencher a Base de dados de conhecimento (KDB - Knowledge Database)

A forma como é organizada e classificada a informação e, consequentemente, a facilidade de extração e reutilização da informação é de extrema importância num sistema desta natureza [30]. Ferramentas apropriadas podem ter de ser desenvolvidas para melhor servir as necessidades de consulta dos utilizadores desta informação/conhecimento.

A informação numa KDB tem duas categorias gerais: elementos do processo e elementos de implementação. Os primeiros são os dados técnicos ou procedimentos para realizar a ação, podem ser metodologias, especificações técnicas de material ou ferramenta, parâmetros de afinação dos equipamentos, desenhos técnicos, descrição das técnicas utilizadas entre outros. Os segundos, trata-se do conhecimento do ambiente em que as boas práticas foram realizadas, esta informação ajuda a empresa a ter perceção se determinada boa-prática ainda é viável e, caso não seja, se existe alguma forma de a adaptar ao novo contexto. Também é contida nesta vertente, as implicações e eventuais desvantagens da implementação da boa-prática, são avaliados os seus efeitos globais se esta for parte constituinte de um processo com maior abrangência. [30]

Categorias e subcategorias da informação numa KDB (resumo):

- Elementos do processo;
 - Conhecimento específico do processo;
 - Conhecimento das medições de desempenho ;
 - Conhecimento de elementos de suporte;
 - Conhecimento dos especialistas internos .
- Elementos de implementação;
 - Conhecimento de relações causa-efeito;
 - Conhecimento do nível de implementação;
 - Conhecimento de infraestrutura de implementação;
 - Conhecimento de empresas a aplicar a boa prática.

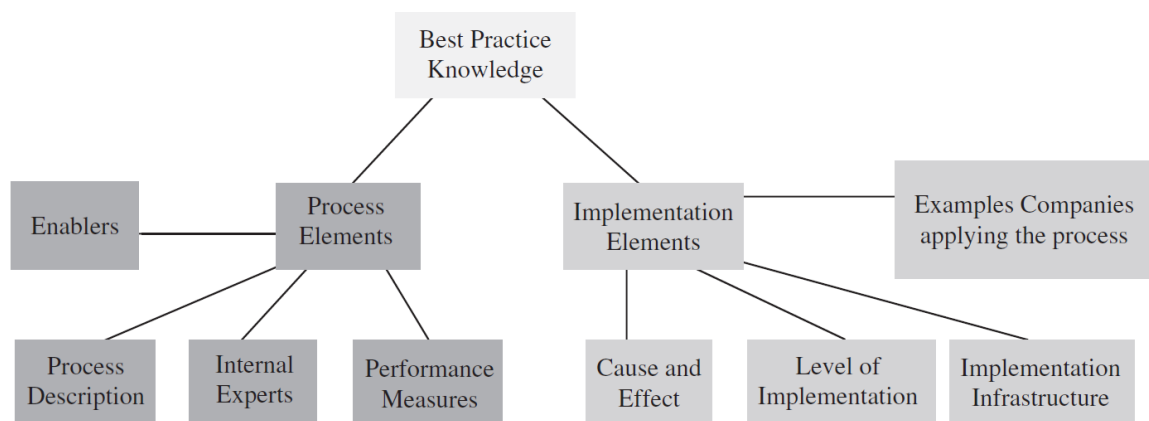


Figura 52 - Classificação de elementos de boas práticas. [93]

Módulo de nutrição e incentivo ao conhecimento

O incentivo e nutrição do conhecimento são atividades que podem ser desenvolvidas com ações de formação, publicação de documentos, publicação e afixação de resultados de ações de melhoria, e até mesmo a criação de formas de incentivos, prémios e outras recompensas para os colaboradores que cumpram os objetivos afetos às áreas estipuladas. Caso existam prémios ou qualquer outro incentivo que distinga um ou mais colaboradores pelo desempenho em determinado procedimento em relação a outros devem existir uma avaliação extremamente cuidada e bem desenhada de forma a ser o máximo imparcial e justa possível, ser bem avaliado, por si só traz tipicamente bons indicadores de motivação a todos os níveis dos colaboradores. A figura abaixo esquematiza as tarefas típicas dum sistema de incentivo ao conhecimento (Figura 53).

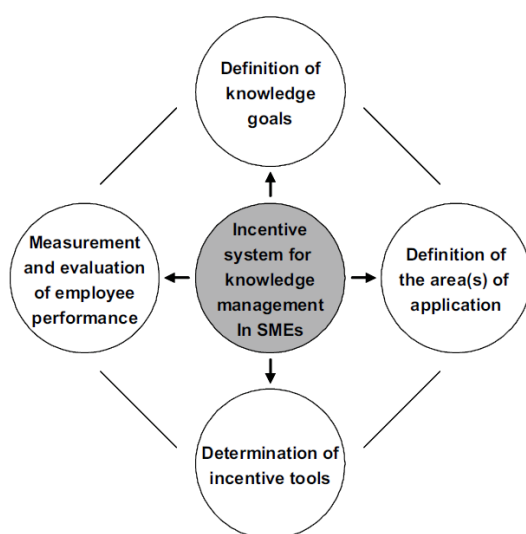


Fig. 10.1. Design areas of incentive systems

Figura 53 - Áreas típicas dum sistema de incentivo ao conhecimento [93]

Extração do conhecimento

A metodologia de extração do conhecimento tem toda a importância, dependendo a qualidade e utilidade da informação do modelo utilizado. De uma forma geral a metodologia desdobra-se em várias problemáticas afetas ao tema que são extensamente abordadas na bibliografia referida [30, 93]. No sistema proposto na secção da solução (secção 4), a informação é recolhida e armazenada, sendo posteriormente cruzada e corrigida de acordo com informação técnica específica. Os problemas de interpretação e gestão do conhecimento abordados na literatura de complexidade mais elevada não se colocam uma vez que a informação recolhida é traduzida sem dificuldade em dados técnicos, a única subjetividade que existe na informação recolhida é no campo da escrita livre (comentários) que é registada e reutilizada dessa mesma forma sem ser processada.

As metodologias de inferência de conhecimentos são divididas, tipicamente em 3 áreas anumeradas abaixo, que por si se desdobram de numerosas problemáticas de acordo o tipo, dimensão e forma da informação a recolher.

- Identificação dos especialistas;
- Ativação e captura;
- Interpretação e documentação;

No Anexo D encontra-se uma tabela com várias técnicas de recolha e angariação de informação – *Elicitation techniques* [93].

Módulo de manutenção e gestão da KDB

As tarefas de manutenção de uma KDB são abordadas mais adiante na secção da solução relacionando-as com as ferramentas criadas para o efeito. Estas tarefas passam pela atualização da informação assegurar a qualidade e disponibilidade dos dados e eliminar registos obsoletos.

Módulo de análise de utilização e contribuições

Deve ser criada uma plataforma, que fornece informação acerca da catividade geral ou individual no sistema, Nº de consultas, contribuições, partilha de informação e qualidade da mesma. O nível de participação deve ser registado com eficácia e, caso seja um processo automático, de forma precisa e exata. Tal registo, se for construído eficazmente pode ser utilizado para ser parte integrante da avaliação de desempenho, ou seja, o colaborador é incentivado a participar da partilha de informação e conhecimento de valor acrescentado para a empresa.

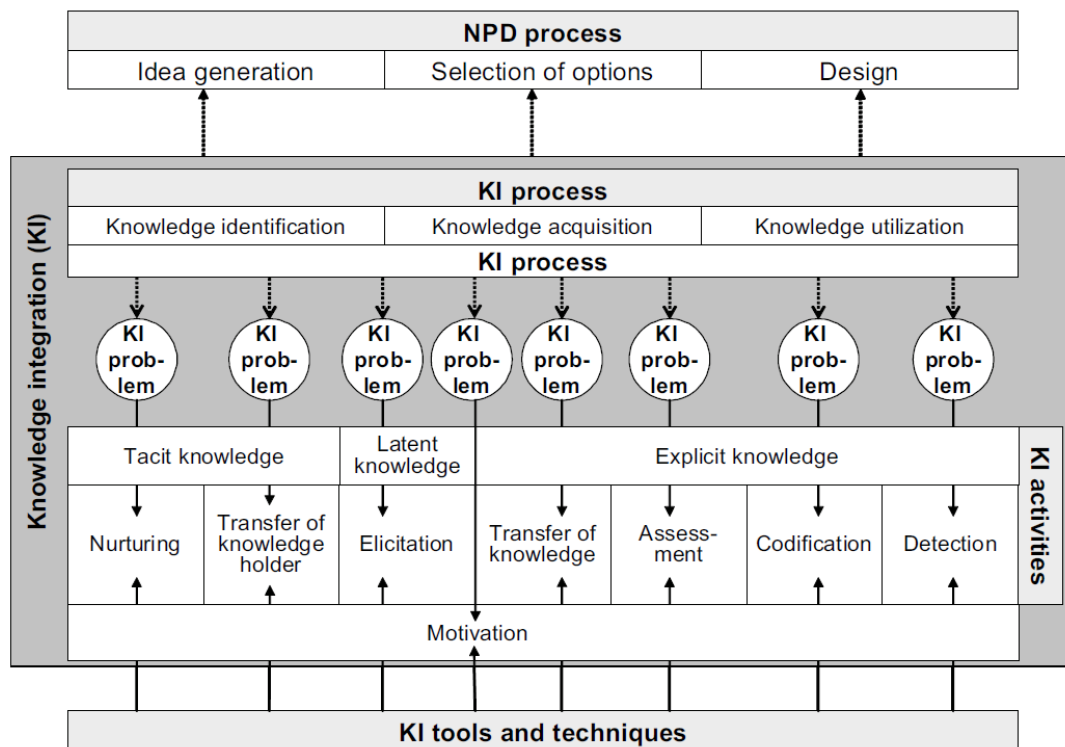


Figura 54 - Atividades típicas nas tarefas de gestão de uma *Knowledge Database* neste caso de exemplo para um sistema de NPD (*New Product Development*). [93]

2.5.5 Metodologia utilizada na criação da KDB

Identificação dos objetivos – OS objetivos foram traçados pela gestão de topo cuja premissa foi: “A otimização dos processos de corte”. Além disso pretendia-se também a nivelção do desempenho dos processos de maquinagem.

Análise do problema inicial -Com a análise feita acerca dos recursos da empresa, formas de trabalho e metodologias em utilização à data da receção dos objetivos, concluiu-se que a implementação de uma plataforma de aproveitamento e reutilização do conhecimento sobre maquinagem de alguns dos colaboradores a ser utilizados por todos na geração de processos de maquinagem seria a melhor caminho a adotar, ou seja, a criação de uma KDB para o auxílio à geração de processos de maquinagem. Tal decisão assentou no facto de existirem, realmente, diferenças no desempenho de processos de maquinagem que deveriam ser semelhantes. Além disso o conhecimento dos trabalhadores a praticar as melhores boas-práticas de maquinagem na empresa não estava a ser partilhado o que causa um acentuar dos desequilíbrios referidos. Ainda se notaram desaproveitamentos nas investigações pontuais feitas pelos colaboradores afetos aos processos de maquinagem, as melhorias encontradas para cada trabalho (tipicamente os de natureza mais complexa) eram apenas aproveitados para o processo de maquinagem em questão, sendo perdidas após o fabrico da peça, já que nenhum registo era feito acerca desta melhoria. Um sistema do tipo KDB vinha colmatar todas estas falhas e aproveitar todas estas oportunidades de melhoria.

Identificação dos indicadores chave.

-Identificar as metas – A meta traçada foi a construção e implementação a uso de uma KDB (base de dados de conhecimento) que, conjugando todas as funcionalidades, permitisse a inserção e reutilização do conhecimento de maquinagem no processo produtivo (de forma simples e rápida). Desta forma otimizar os processos de maquinagem nivelando o desempenho dos trabalhos em máquinas CNC.

-Associar as metas com pontos-chave da estratégia – A implementação deste sistema permite ao utilizador pesquisar (através dos formulários criados para o efeito) e reutilizar (aplicando as informações recolhidas na geração dos programas CAM) o conhecimento de maquinagem.

-Identificar as métricas – As métricas no que toca à utilização do sistema (numero de consultas e numero de registos adicionados está ainda por definir, possíveis aplicações na avaliação de desempenho). As métricas no que toca ao desempenho dos processos de maquinagem dependem do objetivo em cada trabalho de maquinagem:

1-Objetivo de mínimo custo de produção.

Neste caso a métrica utilizada é o custo global do processo de maquinagem antes e após a utilização dos parâmetros indicados pelo sistema em cada caso. O custo global do processo de maquinagem inclui todos os custos associados à maquinagem incluindo o custo homem-máquina (fornecido pelo departamento financeiro). Sendo este custo tipicamente superior ao custo da ferramenta a otimização vai no sentido de uma maior TRM até ao limite estável do desgaste da ferramenta de corte e potência da máquina CNC.

2- Objetivo da máxima qualidade de superfície.

No caso dos acabamentos, o objetivo da máxima taxa de remoção de material torna-se não aplicável, sendo o principal objetivo maquinar a peça com a qualidade desejada no menor tempo possível. A falta de instrumentos de medição de rugosidades, deixa a perceção do cumprimento deste objetivo a cargo da observação do operador e/ou programador CNC. Através de critérios subjetivos estes intervenientes decidem ou não se os objetivos foram cumpridos. Caso sejam cumpridos o critério diferenciador é, mais uma vez, o custo mínimo.

3- Objetivo da máxima vida da ferramenta

Esporadicamente, para alguns registos particulares na KDB o objetivo principal é a máxima vida da ferramenta (no caso de trabalhos que são deixados a fazer sem operador presente). A métrica neste caso é o tempo de vida útil da ferramenta com determinados parâmetros de corte mínimos admissíveis.

-Prever os resultados – É de esperar um aumento de produtividade nos trabalhos de maquinagem. É de esperar também um nivelamento de desempenho de processos de maquinagem entre fábricas do mesmo grupo.

-Construir compromissos – É essencial a participação ativa dos intervenientes, não só para utilizar a informação/conhecimento contida na KDB como para participar na construção do registo das melhores boas-práticas de maquinagem na serem consultadas. A constante promoção e acompanhamento do projeto é essencial por parte, obviamente, do gestor de projeto.

-Planear o próximo passo – O nível de utilização (consulta e introdução) de informação por cada colaborados vai ser registado logo no período seguinte à implementação (através da ferramenta feita exclusivamente para o efeito). O número de trabalhos afetados bem como a melhoria do desempenho global dos processos de maquinagem pode ser calculado no momento que existam já alguns dados de utilização. Esta melhoria é calculada comparando os trabalhos de maquinagem realizados antes (através da recolha feita no início do projeto) e depois da implementação da KDB.

Identificar boas-práticas/ Extração do conhecimento – A identificação inicial de boas-práticas de maquinagem, resumiu-se à recolha dos parâmetros de corte (elementos de processo) utilizados pelos especialistas, nos processos com melhores resultados obtidos (segundo as métricas referidas acima). Foi feita uma recolha dos elementos de processo utilizados por todos os programadores CAM, e ao mesmo tempo um apanhado dos trabalhos realizados na fabricação. A análise e conjugação destes dados permitiu chegar a uma lista de boas práticas de maquinagem eliminando os registos de condições de corte (elementos de implementação) repetidos de piores performances (esperadas ou testadas).

Foi criada uma plataforma de registo de boas-práticas de utilização simples e intuitiva a ser feita por todos os intervenientes de forma simples e independente.

Foi criada uma plataforma de alertas para parâmetros incorretos/ passíveis de ser melhorados acessível nas alturas chave da consulta para ser utilizado por todos os intervenientes de forma independente.

Preparação para a manutenção e gestão da KDB – Ferramentas de verificação, extração e inserção de grandes quantidades de dados simultaneamente foram criadas. Foi criado também um sistema de registo de erros e comentários do utilizador, por utilizador.

Foi criado um espaço na KDB para onde seguem os novos registos e alertas do utilizador, só depois de serem aprovados pelo gestor (que faz o cruzamento dos novos registo com os existentes) é que esta informação passa a estar disponível nos resultados da consulta.

Preparação para o registo de utilização e participação – Foram criados procedimentos de registo por utilizador do número de registos novos adicionados, alertas e consultas. Estes indicadores serviram para definir objetivos do ponto de vista do volume de utilização do sistema.

Incentivo à utilização da KDB criada – Foram já realizadas reuniões de explicação e discussão acerca do novo sistema. Estas reuniões têm tido sempre a participação de elementos da gestão de topo e de todos os programadores CAM. Estes eventos servem, não só para esclarecer certos tópicos na utilização do sistema, como para incentivar e alertar para a importância da sua utilização.

A eventual contemplação dos registos de utilização do sistema para a avaliação de desempenho de certo grupo de colaboradores está a ser estudada.

A descrição de cada tarefa resumida acima é abordada em mais detalhe na secção da Solução (3). São descritas as ferramentas e metodologias utilizadas a nível informático para solucionar cada tarefa, e de que forma foram pensados os modelos de utilização da aplicação criada.

3. Solução encontrada

Com vista à otimização dos processos de corte e um melhor aproveitamento do aparato industrial da empresa afeto ao fabrico de peças por controlo numérico, uma das ações consideradas indispensáveis seria nivelar o desempenho do fabrico entre fábricas e, a partir daí, melhorar continuamente os processos de corte nas várias vertentes de otimização viáveis e ajustadas à natureza da empresa. A solução encontrada que resolveria uma grande parte dos problemas existentes e que, além disso, tinha potencial para crescer em valor e importância com o tempo e utilização era a criação de um registo de boas-práticas de maquinagem que de alguma forma guardasse as práticas melhores de maquinagem elaboradas de forma a terem resultados de elevado desempenho. Sempre que surgissem trabalhos iguais ou semelhantes, a descrição dos parâmetros de corte e outra informação relevante seria resgatada e aplicada ao novo trabalho. Este registo poderia ser melhorado e completado por todos os programadores CAM.

A trivialidade da ideia não corresponde à complexidade de a colocar, efetivamente, em prática. Para elaborar tal sistema, teve de ser criada uma metodologia de comparação de trabalhos, ou seja, identificar que características do processo e envolvente (ou que elementos de implementação) têm de ser reunidas para se tornar adequada a utilização dos elementos de processo registado. Tal como foi referido anteriormente, a quantidade de variáveis a ter em conta, num processo de maquinagem é imensa, o que tornava este sistema demasiado complexo. Desta forma, para se poder generalizar minimamente entre trabalhos de maquinagem, teve de se selecionar um conjunto de características do trabalho (o menor número possível) para registar, caso este conjunto de características se mantivesse entre trabalhos diferentes de maquinagem, estes seriam considerados semelhantes e, portanto, seria viável a utilização dos elementos de processo registados (velocidades de corte, avanços e rotações e a escolha da ferramenta e do fluido de corte).

Para cada conjunto de parâmetros de corte (ou elementos de processo) registados é atribuída uma ou mais ferramentas de corte capazes de cumprir o andamento e TRM indicado com o nível de qualidade pretendido. Para efetuar uma escolha mais cuidada foi elaborado um processo de testes que ajuda a perceber a performance de uma ferramenta em relação a outra (considerando funções objetivo de custo total de ferramenta ou qualidade máxima de superfície, nalguns casos específicos o objetivo é a máxima vida da ferramenta). Este sistema serve apenas para diminuir e condensar a escolha das ferramentas para cada registo de processo de maquinagem na KDB sendo este mesmo registo, a introdução e reutilização de informação o fator crucial do projeto.

Criação de uma Knowledge Database à medida da empresa.

A construção de uma base de dados e criação e programação de todas as interfaces e funcionalidade do sistema foi a forma mais eficaz de resolver problemas de inadaptabilidade e falta de flexibilidade das aplicações existentes que eventualmente dariam para se adaptar a esta finalidade. O preço, a difícil adaptação, a formação necessária e as extensões de assistência a adquirir posteriormente também conduziram à decisão da criação de raiz desta aplicação. Todas as alterações, reparações ou manutenção ficam, desta forma, contidas e asseguradas por colaboradores da empresa sem custos adicionais. A plataforma onde foi construída pode

facilmente crescer e expandir-se para novas e diferentes funcionalidades sem que para isso seja necessário formação ou contractos adicionais. O *know how* de todos os aspetos relacionados com o projeto fica do lado da empresa com vantagens conhecidas.

O paradigma da utilização de uma base de conhecimento numa indústria de produtos altamente costumáveis está relacionado com o facto de tal sistema consistir, de uma forma simples e genérica, aproveitar conhecimentos adquiridos no passado aplicando-os a problemas do presente. Ora se os produtos são costumáveis e muitas vezes do tipo “*On-of-a-kind*” não existiria informação passada da produção de produtos iguais feitos no passado. A solução para este problema passa pela construção de uma metodologia de comparação que permita comparar e aproveitar informação de produtos, não iguais, mas semelhantes. Esta tarefa passa pela escolha de um determinado grupo de parâmetros caracterizadores do trabalho ou peça que possam ser associados a outra peça diferente. No caso dos moldes no processo de maquinagem de peças metálicas estes parâmetros não são mais que algumas condições de corte do trabalho a realizar como é o caso do Material da peça a fabricar; Características geométricas da ferramenta a utilizar; Equipamento CNC onde foi realizado o trabalho; Etapa de maquinagem; Estratégia de maquinagem; entre outras condições de corte que se queira considerar.

3.1 Escolha da vertente de otimização

A designação da solução geral adotada para a problemática da otimização é a transcrita abaixo. Sendo o tema central deste projeto, considerou-se que constitui o título adequado ao presente trabalho:

Implementação de uma Base de Conhecimento KDB de apoio à geração de procedimentos de maquinagem.

3.1.1 Nível de Otimização

A criação de uma base de conhecimento para o apoio à geração de programas de maquinagem está inserida na problemática da otimização dos processos de corte por arranque de apara. As vantagens e as oportunidades da implementação deste sistema, balanceados com os recursos equipamentos e pessoal envolvido, das vertentes de otimização possíveis, foi a que se considerou mais vantajosa. As principais razões para se ter optado pela construção de um KDB foram as seguintes:

Razões que levaram à implementação de uma KDB

- Resolução direta de problemas apontados pela direção. Operações com características (ou elementos de implementação) iguais estarem a ser resolvidos com parâmetros de corte (elementos de processo) e portanto, desempenhos diferentes;
- Recursos e equipamentos de medição para processos alternativos de otimização (baseados na medição de vibrações e rugosidades) limitados e de difícil aquisição;
- Processos de otimização alternativos de resultados verificáveis num número inferior de casos (aplicabilidade não tão abrangente);
- -Custos de implementação e adoção (da solução encontra) reduzidos;
- Sistema com possibilidade de ser transformado e melhorado de acordo com as necessidades específicas da empresa;

- Manutenção alteração e reparações do sistema com possibilidade de ser feitas internamente de forma independente sem custos adicionais;
- Forma de aproveitamento do conhecimento relativo aos processos de maquinagem;
- Forma de atualização de certos parâmetros, estratégias e metodologias obsoletas no fabrico por maquinagem CNC.

As melhorias e vantagens da aplicação de uma base de conhecimento foram descritas de forma mais completa acima no capítulo 2. Estado da Arte/conhecimento. A consulta através das diferentes funcionalidades permite melhorar ao nível da escolha dos parâmetros de corte, escolha da ferramenta, escolha das operações de maquinagem e escolha da máquina. Melhorias destas podem ser classificadas de melhorias de primeiro nível apesar de ter já sido referido que um sistema de armazenagem de conhecimento é sempre mais abrangente [3].

A implementação e construção do sistema, seguiu de uma forma geral as premissas adquiridas da revisão bibliográfica, não seguindo em particular nenhum documento ou metodologia específica mas sim a conjugação de todas elas.

3.1.2 Aspetos adicionais de otimização

A recolha inicial junto dos colaboradores de parâmetros de corte e ferramentas utilizadas para cada trabalho (ou para cada conjugação de elementos de implementação) deu poucos frutos no que toca à quantidade e qualidade da informação. Isto deveu-se aos colaboradores escolherem os parâmetros e ferramentas de corte a utilizar instantaneamente de acordo com o conhecimento latente de largos anos de experiência profissional [93]. Converter este conhecimento em conhecimento explícito ficou a cargo do responsável de projeto. Esta informação foi largamente completada por observação, testes não registados junto dos equipamentos de acordo com pesquisa e informações fornecidas por marcas e fornecedores. Desta forma procedeu-se a uma compilação das melhores práticas de maquinagem na empresa que por sua vez, muitas delas, foram ainda melhoradas por processo de otimização geral que foram sendo testados (sem registo) [93].

A abordagem levada a cabo neste tipo de otimização (que pode ser chamada de “informal”) foi sendo construída e aprimorada com o tempo conjugando informações fornecidas das marcas e bibliografia com os resultados da fabricação sempre que existia oportunidade para os verificar. É importante referir que o resultado deste exercício foi sempre sendo registado na base de conhecimento, podendo ser resgatado assim que se reunirem as condições da mesma forma que todos os exercícios de otimização informal levados a cabo por todos os colaboradores afetos ao fabrico podem agora ser registados em forma de conhecimento e assim acrescentar valor a esta KDB. Nesta secção são abordados alguns aspetos desta otimização “informal” e continua.

3.1.3 Aspectos relacionadas diretamente com a escolha da ferramenta.

A escolha da ferramenta de corte é, provavelmente das tarefas mais vagas e ambíguas praticadas numa típica oficina de produção de peças. No entanto as pessoas afetas a esta tarefa podem sempre seguir alguns caminhos de boas práticas que, apesar de não constituírem informação exata, vale a pena ter em conta.

Ferramenta mais importante

Nem todas as ferramentas merecem a mesma atenção, a averiguação do processo deve começar pela ferramenta (ou grupo de ferramentas) mais utilizado, que caso faltassem, o processo de fabrico pararia. Estas ferramentas devem primeiramente ter uma vida útil elevada, as ferramentas do mesma abrangência em termos de custos têm tempos de vida variáveis, é sempre preferível optar pela que dura mais tempo (sendo o resto das características semelhantes). Tipicamente, esta ferramenta forma aparas de uma forma mais estável e deixa um acabamento melhor na peça.

Ferramenta Adequada à Máquina

As ferramentas podem ser de rotação para a esquerda ou direita (CW ou CCW) deve-se escolher a ferramenta de acordo com a rotação da máquina. Quanto ao comprimento, existe tendência a utilizar um alongador de ferramenta mais comprido para maquinar a uma profundidade superior com o mesmo *setup*, no entanto desta forma prejudica-se a rigidez, aumenta-se a deflexão da ferramenta, a vibração e consequentemente diminui-se a vida da ferramenta e a qualidade de superfície. Normalmente, é preferível a nível global separar o trabalho por dois ou três comprimentos mesmo com os custos da paragem da mudança de ferramenta. Verificar os limites de peso e tamanho dos suportes de ferramentas, eles existem. Caso a máquina tenha capacidade de alimentar fluido de refrigeração através da árvore da máquina é sempre preferível utilizar ferramentas com essa função.

Ferramenta adequada ao material

Existe um grande número de geometrias e tipos diferentes de ferramenta no mercado, a maior parte deles é adequado aos aços e ligas de aço (ISO P) no entanto existem ferramentas adequadas para todos os materiais que são utilizados tipicamente em processos de fabrico. É sempre preferível o aconselhamento junto dos fornecedores para uma melhor escolha do revestimento, material e geometria da ferramenta de acordo com o material a maquinar. O mercado está sempre em mutação, é necessário estar atento e considerar sempre a utilização de novos revestimentos e geometrias, mesmo que as utilizadas tenham já bons resultados há sempre margem para melhorar. Deve ter-se em conta também o objetivo do trabalho, a geometria e tipo a ser escolhido para deixar uma qualidade de superfície o melhor possível não é a mesma de um trabalho para a máxima TRM.

Tamanho da ferramenta

Um erro comum na maquinaria em fresadoras CNC é a escolha de ferramentas com tamanho exagerado. A tendência é cada vez mais o aproveitamento da alta velocidade e dinâmica das máquinas modernas com recurso a ferramentas de pequenas dimensões com capacidades de alto avanço e velocidades de corte. As ferramentas de alta velocidade devem ser utilizadas a alta velocidade sempre que possível, da mesma forma que os equipamentos. As

fresas de elevadas dimensões ajustam-se menos à geometria da peça deixando muito mais trabalho por realizar.

Material da ferramenta e revestimentos

A seleção dos revestimentos e material da ferramenta pode ser complicada. Dentro do trabalho que se está a realizar deve escolher-se o revestimento mais versátil. Se o problema persistir é necessário atender ao modo de falha da ferramenta e agir em conformidade, em vez de alterar a marca da ferramenta e escolher um revestimento equivalente das tabelas de equivalência.

Potência do Processo de maquinagem

A linha de ação neste caso é utilizar o que foi adquirido. Sempre que as características do trabalho o permitam (fixação da peça, geometria e peso, e estratégia de maquinagem) deve utilizar-se a potência da máquina escolhendo as ferramentas para o efeito (80% da potência total). Verificar os manuais de potência/rpm do equipamento, para uma maior eficiência energética deve-se escolher ferramentas cujos parâmetros de corte aconselhados estejam próximos das linhas de rendimento máximo da máquina.

Número de arestas de corte

A regra, tipicamente, é apostar em ferramentas com maior quantidade de arestas de corte, no entanto, com uma condicionante, caso a máquina não tenha uma dinâmica (aceleração e velocidade de avanço) suficiente para atingir o avanço por aresta de corte aconselhado pelo fabricante da ferramenta, então não vale a pena ter mais navalhas. Deverá então adequar-se então o número de arestas de corte às capacidades da máquina sempre com preferência por um numero mais elevado.

Design modular ou inteiriço

Para trabalhos de maquinagem de precisão, ou seja, para acabamentos com ferramentas de pequenas dimensões é preferível as ferramentas inteiriças, que oferecem mais rigor em trabalhos que, tipicamente, não se troca tantas vezes a ferramenta de corte. Para trabalhos de desbaste em que a ferramenta é trocada e falha muitas vezes, é positivo que a parte que é substituída (a pastilha) seja um par com custos e dimensão reduzidos.

Ferramenta Standard ou Especial

Para lotes de grandes dimensões as ferramentas especiais podem poupar tempo. No entanto com a vulgarização da fabricação por controlo numérico as ferramentas standard estão mais que implementadas e para lotes de tamanho limitado são sempre a melhores as ferramentas standard.

Controlo da Aparar

O controlo da aparar é importante ,especialmente num processo cujo desempenho está aquém do expectável a aparar pode dar boas pistas para descortinar o problema. Materiais mais dúcteis formam aparas mais difíceis de separar, este e outros problemas podem ser resolvidos com a alteração da ferramenta. O ajuste da escolha deve ser feito caso a caso. A alteração da geometria e cor da aparar pode ser sinal de problemas de corte que podem estar a surgir.

Programação

No que toca à ferramenta, o departamento CAM deve ajustar alguns parâmetros de maquinação de acordo com as características da mesma (ângulo de entrada, direção de corte, velocidade e avanços de corte). Para cada tipo de ferramenta existem estratégias CAM que permitem melhorar a vida da ferramenta bastante que devem ser investigadas e implementadas sempre que possível.

Escolha segura e comprovada ou última inovação do mercado

A produtividade associada às ferramentas de corte aumenta para o dobro a cada década. É essencial que as empresas não percam esta linha de aumento de produtividade e versatilidade associado à evolução dos equipamentos e ferramentas. Novos avanços relacionados com a diminuição de forças de corte em HSM e em aplicações de mínimo fluido de corte estão sempre a surgir. Encontrada uma solução na indústria que melhore significativamente o processo deve ser considerada e implementada. Está claro que qualquer investimento demora tempo a ter o seu retorno, a aposta em novas soluções deve estar em conformidade com esta premissa.

Preço da ferramenta

O preço tem a sua importância, mas o valor que é realmente importante é o custo da ferramenta. O preço é o valor monetário que é pago para adquirir a ferramenta. O custo é um valor que é função da sua produtividade. Tipicamente as ferramentas mais baratas, correspondem às de menor qualidade e portanto, as que ficam globalmente mais caras. O desempenho de cada processo deve ser definido sem restrições do ponto de vista da ferramenta, a escolha da ferramenta deve, depois, ir ao encontro dessas exigências (e não o contrário).

Apoio pós venda

O mercado de ferramentas de corte é global, as ferramentas de corte de uma oficina PME podem ter sido fabricadas no outro lado do planeta. Assim a assistência tem de ser prestada pelos representantes dessa mesma marca. Escolher representantes experientes e próximos permite repor stocks e resolver problemas mais rapidamente. O conhecimento sobre o processo de maquinação é cada vez mais profundo, no entanto, nada substitui o conhecimento adquirido ao longo dos anos e número de clientes servidos. Apesar disto é sempre necessário investigar e aprender de outras fontes distintas (tais como catálogos e sites de marcas de referência) e sempre que pertinente, confrontar e discutir com os fornecedores acerca da informação obtida.

3.2 Plataforma funcional criada para suporte e organização dos recursos e informação (adicional à KDB)

3.2.1 Criação de um sistema de nomenclatura de ferramentas

O mercado de ferramentas de corte acompanha a dimensão da indústria de fabrico de peças metálicas já abordado anteriormente. Com um número infindável de referências de ferramenta associadas a tipologias, revestimentos, geometria, campos de aplicação, entre outros, pode

tornar-se confusa e difícil a gestão de stocks de tipo de artigos no seio de uma empresa, especialmente se existir o hábito de as adquirir de diferentes marcas e fornecedores.

Para fazer uma gestão eficaz deste tipo de recurso é essencial classificar bem as ferramentas adquiridas em relação à sua função, consumos habituais e equipamentos que as utilizam. Este tipo de sistemas tem de estar, preferencialmente sincronizado com o departamento de compras e controlo de stocks para nunca faltarem ferramentas para determinado trabalho de maquinaria. Sistemas destes podem ter também adendas em forma de questionário para cada artigo retirado, desta forma consegue-se retirar mais informação acerca dos artigos gastos, por exemplo, por intervalo temporal, por máquina e etapa de maquinaria.

Foi precisamente para cumprir as tarefas mencionadas que foi criado um sistema de nomenclatura interno para ferramentas de corte transversal a todas as marcas. Esta nomenclatura inclui a referência única associada à ferramenta (a referência da marca) e uma referência adicional interna que permite identificar imediatamente o local de arrumação, fornecedor o tipo de ferramenta e os trabalhos que tipicamente realiza. Na figura 66 são apresentadas as grandezas geométricas para as fresas inteiriças. A nomenclatura foi baseada no sistema de várias marcas líderes no mercado.

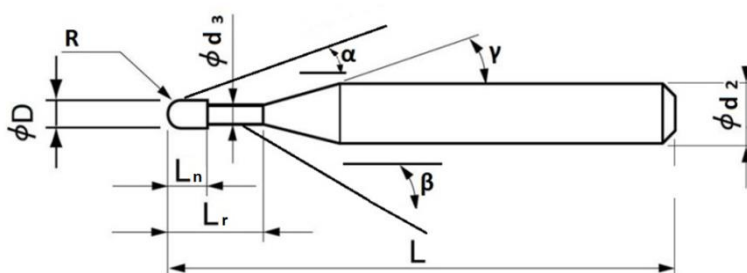


Figura 55 - Esquema das grandezas a especificar na descrição completa de uma fresa.

Desta forma é possível, independentemente da marca, controlar o stock de ferramentas existentes para cada tarefa a realizar.

Sempre que novas ferramentas são adquiridas é-lhes atribuída a referência interna que se ajusta às suas características. Caso a referência não exista, o sistema está estruturado para sofrer alterações e receber novas referências sem afetar a lógica intuitiva da numeração atribuída. Na Figura 67 é dado um exemplo da nomenclatura descrita.

Artigo:	HI FR EPDBE-2060-12-ATH CP0600		<input type="checkbox"/> Artigo anulado
Descrição:	Ø6ESF X12(Lr) Hitachi cod:EP1070		

Figura 56 – Referência interna = “Artigo” do tipo “FR” (fresa inteiriça) do fornecedor referenciado pelas letras “HI”; com a numeração interna “CP0600”, que pressupõe o local de arrumação, um diâmetro de 6mm, topo esférico e comprimento de respa de pequeno a médio (menor que 10x o diâmetro).

Em alguns casos de ferramentas de insertos/intercambiáveis de aplicações mais específicas, foi criada a numeração interna de acordo com aplicação, geometria, estratégia de maquinagem que realiza e até mesmo marca do fabricante ou revestimento.

3.2.2 Criação de um sistema de recolha de informação

O controlo de stocks, por norma, controla apenas o número de unidades de determinado artigo em stock, no entanto, como foi já explicado, algumas empresas aproveitam o ato do registo da saída de stocks para retirar informação adicional relacionada com artigos em questão (ou com os artigos substituídos). O sistema implementado, para cada ferramenta retirada do stock apresenta a caixa de diálogo abaixo (Figura 57) este sistema está inserido no software de gestão e ambos utilizam já a nomenclatura criada para o efeito (secção 2.2.1). Esta aplicação fica instalada num computador junto aos pontos de arrumação das ferramentas.

Gestão Projectos - Quantidade

Confirmar Cancelar

Nº Compartimento: CP0600

Quantidade: 1

Número Equipamento: 1302 KONDIA II - FRESAI

A Ferramenta irá realizar: Acabamento

Razão da troca: sofreu desgaste normal.

A Ferramenta substituída sofreu desgaste normal.
A Ferramenta substituída sofreu desgaste anormal (+ Rápido).
O trabalho a realizar exige que a ferramenta seja nova.
A Ferramenta substituída Sofreu Fratura

Figura 57 - Caixa de diálogo a preencher para cada retirada de ferramentas de corte do Stock.

Informação retirada e funcionalidades:

- Referências e quantidades consumidas, por máquina e datas.
- Razão da substituição (quebra, desgaste anormal, desgaste normal, necessária um ferramenta nova para acabamento)
- Sincronização com o sistema de classificação das ferramentas: ("CP YYYY") permite saber que tipo de ferramentas se gastam mais, por que motivo e em que equipamento.

3.2.3 Relatório de comparação do desempenho de ferramentas de corte.

A atribuição de ferramentas de corte para realizar determinadas condições (registadas na KDB) segue os resultados dos testes efetivos feitos no decorrer normal da fabricação. Caso as ferramentas tenham resultados positivos e interessantes do ponto de vista do desempenho e cumprimento dos objetivos em trabalhos de maquinagem que representem de uma forma geral o tipo de trabalho que a ferramenta irá realizar, é encomendado um lote piloto para testar a ferramenta em mais condições de corte (maior numero de conjugações de elementos de implementação).

Os relatórios são baseados no cálculo típico de custos totais de maquinagem assegurando a contabilidade de todos os parâmetros. Os custos afetos aos colaboradores e equipamentos são relatados e calculados pelo departamento financeiro e adicionados aos cálculos

O relatório de maquinagem tem como principais funcionalidades a comparação direta de ferramentas, além disso permite comparar processos das formas seguintes:

De acordo com os objetivos traçados pela gestão de topo comparar processo de maquinagem segundo objetivos de Máxima performance (máxima TRM – Taxa de remoção de material) e Máxima vida da ferramenta.

Procedimento geral dos testes

Por norma o teste é realizado sempre que surjam ferramentas ou elementos de processo que à partida acrescentem alguma coisa em termos de desempenho. Os testes são feitos no decorrer normal da fabricação das peças, por norma com a utilização até o desgaste total de duas ou três trocas. Caso a ferramenta passe este primeiro teste é encomendado um lote piloto de ferramentas para testar num espaço temporal mais alargado, como será explicado mais adiante.

Procedimento técnico

O teste é feito no decorrer normal da produção e reunidos os elementos de implementação estipulados para aquele teste em específico.

Os Elementos de implementação são escolhidos pelo gestor de procedimento e aprovados pelo fabricante/fornecedor da ferramenta.

Caso o gestor não esteja presente a folha de registo é preenchida pelo operador da máquina. Como é indicado a ficha de registo de resultados, são apontados tanto resultados numéricos como resultados de observação e opinião:

Resultados exatos

- Tempo de vida da ferramenta.
- TRM.
- Tendência à quebra.

Resultados vagos ou imprecisos

O relatório inclui campos de preenchimento livre onde se pode comentar diversos aspetos não quantificáveis como por exemplo os seguintes:

- Dificuldade de montagem ou *setup* de uma ferramenta;
- Carga e força provocada aos elementos da máquina (Vibração detetada pelo som provocado e observação do potenciómetro da máquinas);
- Suavidade do corte (opinião do operador).

Este tipo de informação é importante para uma perceção mais consciente das condições nas quais os resultados obtidos foram registado, poder formar uma opinião e decidir em conformidade.

Relatório de maquinagem

O relatório é elaborado com resultados obtidos dos testes de ferramenta. A disposição do teste é adequada à comparação de duas ou mais ferramentas em relação a outra pelo que os testes devem ser feitos em condições semelhantes. Esta comparação é feita a valores de vida da ferramenta, custo de mudança, TRM entre outros valores de relevo. Para melhor perceção e compreensão foram atribuídos símbolos à informação necessária acerca do teste e da ferramenta e o resultado final é disposto sob a forma de um gráfico. Um relatório de comparação exemplo é apresentado abaixo na Figura 58.

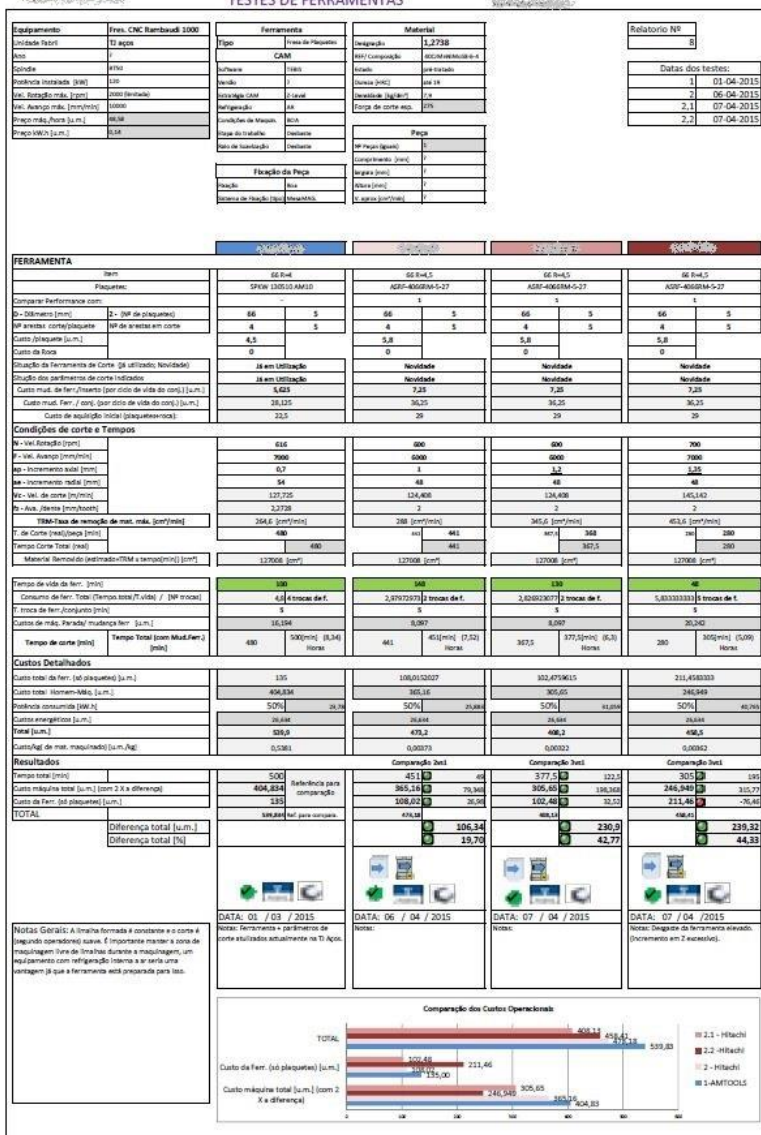


Figura 58 - Relatório de maquinagem elaborado para cada teste de comparação de ferramentas/parâmetros de corte.

Registo final do teste na KDB

O registo final é feito no formato PDF na KDB, este teste está associado aos registos da base de conhecimento por intermédio da identidade única do registo. Esta sincronização tem de ser feita manualmente para cada teste efetuado. A consulta do teste pode ser feita manualmente ou através da aplicação, caso o resultado da pesquisa feita corresponda às condições registadas do teste a aplicação permite a consulta direta do resultado dos testes.

Criação de uma designação que permite a verificação do número de ferramentas por tipo, geometria e função semelhante, em plena articulação com o software de gestão.

3.3 Inquérito e recolha de informação inicial

Como base para a criação da KDB foi feito um inquérito de recolha de informação relativa às práticas de maquinagem seguidas pelos programadores CAM. Esta informação foi, de seguida, reestruturada de acordo com o *layout* estipulado para a KDB.

3.3.1 *Layout* utilizado na recolha.

Para uma melhor visualização e inserção de dados em quantidade, foi construída uma grelha de inserção de dados manual em Excel (Figura 59). Esta grelha é utilizada para lidar com grandes quantidades de dados. Uma função é corrida posteriormente (no âmbito da gestão da KDB) de verificação e reorganização para o *layout* de Base de dados (DAO DB - *Database Access Objects Data Base*). A Figura 59 ilustra a caixa de diálogo a relatar os erros de dados após correr a função. A função cruza todos dados inseridos manualmente com as escolhas pré-estabelecidas e restrições de valores mínimos e máximos.

Elementos de implementação

Ø0,8
R=0,4 (ESF)

Alta Vel. Huron MX 10 HV/10X10 FIVE

Nº ID	Ferramentas	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 4	Opção 5	Opção 6
1	Fresa Ø0,8 ESF 2-2						
2							
3							
4							
5							
6							

Ajustamento	
mac_TRM	
Fresa	
z_level	
Material	1.1730 Construção
Dímetro da Ferr.	0,8
Equipamento	Alta Vel. HX10FIVE
Índice de posição:	1

[A]	
F[mm/min]	1200
Z[Navalhas]	2
N[rpm]	16500
ap[mm]	0.07
ar ou L[mm]	0.04
D[mm]	0.8
Vc[mm/min]	41.47
fz[mm/tooth]	0.037
Q[mm³/min]	4
COMENT (110 caract.)	Por validar

Ajustamento	
mac_TRM	
Fresa	
z_level	
Material	1.2738 Pré-tratado
Dímetro da Ferr.	0,8
Equipamento	Alta Vel. HX10FIVE
Índice de posição:	2

[A]	
F[mm/min]	1100
Z[Navalhas]	2
N[rpm]	16500
ap[mm]	0.07
ar ou L[mm]	0.04
D[mm]	0.8
Vc[mm/min]	41.47
fz[mm/tooth]	0.034
Q[mm³/min]	3
COMENT (110 caract.)	Por validar

Ajustamento	
mac_TRM	
Fresa	
z_level	
Material	1.2343 Com 1 tempera
Dímetro da Ferr.	0,8
Equipamento	Alta Vel. HX10FIVE
Índice de posição:	3

[A]	
F[mm/min]	1000
Z[Navalhas]	2
N[rpm]	16500
ap[mm]	0.05
ar ou L[mm]	0.07
D[mm]	0.8
Vc[mm/min]	41.47
fz[mm/tooth]	0.031
Q[mm³/min]	3
COMENT (110 caract.)	Por validar

Opção 1		Opção 2		Opção 3		Opção 4		Opção 5		Opção 6	

Elementos de processo

Figura 59 - organização da informação na recolha inicial.

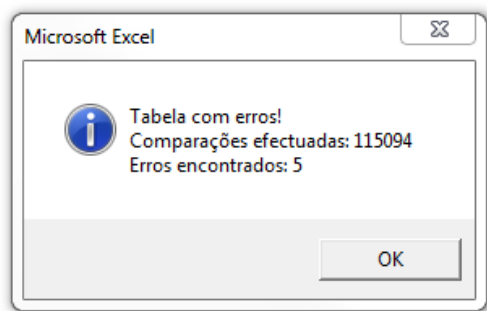


Figura 60 - Caixa de diálogo para relatório de erros.

3.4 Estrutura da informação, Organização do conhecimento na base de dados

Uma estrutura simplificada mas eficaz foi criada para gerir as múltiplas condições de corte geradas a partir das inúmeras variáveis da informação técnica que idealmente representam todas, ou a grande maioria, das condições de corte que são encontradas nos trabalhos de maquinaria da empresa. O *layout* apresentado na secção acima foi utilizado para a recolha e inserção manual dos dados. A organização na *DAO DB*, a nível geral, foi elaborada de acordo com as práticas correntes de construção de uma base de dados Access como será especificado mais à frente na secção 4.6.

3.4.1 Organização do conhecimento de processos de maquinaria

Processo/ boas-práticas

O conhecimento foi organizado dividindo a informação em duas vertentes gerais elementos de processo e elementos de implementação, como foi explicado em detalhe na revisão bibliográfica os primeiros indicam as condições envolventes em que foi realizado o trabalho os segundos são os aspetos técnicos utilizados.

Elementos de implementação

Os elementos de implementação *standard* associados a cada registo são indicados abaixo. Outros elementos que o operador considere relevantes podem ser referidos no campo de informação aberta “comentários” ou por intermédio de imagens associadas para cada registo. As funcionalidades que permitem associar estes elementos aos registos são apresentadas mais à frente.

Tabela 2 - Elementos de implementação da maquinagem.

#	Elementos de Implementação
1	Etapa
2	Objetivo
3	Tipo de Ferramenta
4	Tipo de Maquinagem
5	Material
6	Diâmetro
7	Equipamento

Elementos de processo

Tabela 3 - Elementos de processo da maquinagem

#	Elementos de Processo
1	Parâmetros de corte.
2	Ferramentas de corte associadas.
3	Outra informação (em comentário)

A escolha dos parâmetros e ferramentas de corte pode ser feita através da realização de testes de ferramenta (tendo já sido realizados alguns). Caso não tenham sido realizados testes é registado o processo que tenha melhor desempenho observado na área da fabricação , por entrevista a operadores CNC e programadores.

3.4.2 Formatação para a reutilização

O conhecimento de um KDB tem de ser organizado de forma a facilitar e promover ao máximo a reutilização do mesmo. No sistema construído, a informação é reutilizada através da consulta de vários elementos de implementação através de um questionário de escolha de opções pré estabelecidas (secção 4.7). Se o número de elementos de implementação for demasiado elevado, o número de alternativas diferentes também o seria pelo que a pesquisa por condições de corte específicas teria de ser feita definindo demasiada informação e existiriam muitas combinações de parâmetros sem resultados na pesquisa. Por outro lado, se os elementos de implementação forem insuficientes, mesmo definindo todos os parâmetros para a pesquisa o resultado apresentaria um número elevado de registos e, além disso, não se conseguiria diferenciar de forma adequada trabalhos de maquinagem que devem ser diferenciados. Desta forma o número de elementos de implementação deve ser equilibrado de forma a poder ser articulado da melhor forma num ambiente de consulta.

No sistema criado foram formados grupos para os equipamentos (7 grupos) e para os materiais (5 grupos), os primeiros de acordo com as características de robustez, estabilidade, potência e tipo de trabalhos que realizam, os materiais foram agrupados de acordo com a sua dureza.

Isto permite ao utilizador procurar pelo grupo correspondente e assim, alargar o âmbito da consulta para o material e para o equipamento a opções do mesmo grupo caso não encontre nenhum registo para um material e/ou equipamento específico.

Criação de grupos de materiais por dureza

Características definidas para construir os grupos de materiais (Tabela 4).

-Dureza (apenas foi considerada a dureza para a formação dos grupos de materiais, corresponde à última coluna da tabela abaixo “Gama”)

Tabela 4 - Grupos de materiais considerados inicialmente, divisão efetuada por dureza.

Designação	DIN	AFNOR	Tipo de Aço	HB	HRC	GAMA
1.2311 Pré-tratado	40 CrMnMo 7		Pré-tratado	200	14	1
1.2312 Pré-tratado	40CrMnMoS8-6		Pré-tratado	200	14	1
1.1191 Construção	Ck45	XC 45	Construção	200	14	1
1.1730 Construção	C45W	Y3 42/Y3 48	Construção	200	14	1
1.7225 Para Têmpera	42CrMo4	42 CD 4	Para Têmpera	200	14	1
1.5919 Para Cementação			Para Cementação	236	20	2
1.2343 Para Têmpera	X37 CrMoV 5 1	BH 11	Para Têmpera	237	21	2
1.2344 Para Têmpera	X 40 CrMoV 5 1	BH 13	Para Têmpera	237	21	2
1.2080 Para Têmpera	X210Cr12	BD3	Para Têmpera	253	25	2
1.2767 Para Têmpera	X45NiCrMo4	SKT 6	Para Têmpera	259	26	2
1.2738 Pré-tratado	40CrMnNiMoS8-6-4		Pré-tratado	280	29	2
1.2083 Para Têmpera			Para Têmpera	295	31	2
1.2738 Com Têmpera	40CrMnNiMoS8-6-4		Com Têmpera	325	35	2
1.2083 Com Têmpera			Com Têmpera	373	40	3
1.2311 Com Têmpera	40 CrMnMo 7		Com Têmpera	460	48	4
1.2312 Com Têmpera	40CrMnMoS8-6		Com Têmpera	460	48	4
1.2343 Com Têmpera	X37 CrMoV 5 1	BH 11	Com Têmpera	476	50	4
1.2344 Com Têmpera	X 40 CrMoV 5 1	BH 13	Com Têmpera	476	50	4
1.2767 Com Têmpera	X45NiCrMo4	SKT 6	Com Têmpera	502	51	4
1.7225 Com Têmpera	Ti 1 pd	TP 1	Com Têmpera	700	59	5
1.2080 Com Têmpera	X210Cr12	BD4	Com Têmpera	710	60	5
1.5919 Cementado			Cementado	720	61	5

Criação de grupos de máquinas por características e capacidade

Características definidas para construir os grupos de equipamentos CNC.

- Tipo de trabalho realizado
- Robustez
- Avanço e rotação máxima

Outras características próprias do equipamento em questão relacionadas diretamente com o tipo de trabalho que se realiza em cada equipamento foram obtidas da recolha de informação inicial por observação e testemunhos dos operadores.

3.4.3 Restrições automáticas aplicadas aos registos

Restrições afetas à Máquina

O registo parâmetros de corte (ou elementos de processo) tem já restrições automáticas a serem aplicadas e estão intimamente relacionadas com os limites de capacidade das máquinas e ferramentas. Por exemplo, se se tratar de um desbaste geral, para o grupo número um de equipamentos, a velocidade e avanço não podem exceder determinado valor, assim como para ferramentas com um determinado diâmetro a avanço e velocidade de corte estão entre determinados valores. Estas restrições estão já introduzidas no algoritmo do sistema, outras podem ser definidas de acordo com informações e resultados obtidos ao longo do tempo. As restrições são aplicadas ao parâmetro de corte, formando assim uma área aceitável de maquinagem de acordo com os elementos de implementação ao quais são atribuídas as restrições. Aplicar este método ao longo do tempo é equivalente a minimizar a zona de atuação que constitui uma forma de otimizar o processo pelo método das restrições (secção 3.4.1).

Algumas as restrições já aplicadas aos elementos de processo:

- Parâmetros de corte máximos de acordo com os limites da máquina.
- Parâmetros de corte máximos de acordo com o diâmetro e tipo de ferramenta.

Outras restrições pode ser aplicadas caso se considere adequado de acordo com um qualquer elemento de implementação.

3.5 Arquitetura da KDB

3.5.1 Estrutura da KDB e Programação VBA

A Base de dados está localizada fisicamente no servidor comum a toda a empresa e é afetada pelos procedimentos de segurança adequados da responsabilidade do dep. informático da empresa. Trata-se de uma base de dados baseada em DAO DB única e acessível a computadores ligados à rede interna (LAN) da empresa. A Base de dados foi construída e é utilizada exclusivamente para o sistema em questão. A aplicação é executada através do Excel pelo que cada computador tem de ter este programa instalado (a utilização de objetos e funções do Excel foi eliminada já do código fonte da aplicação com vista à desconexão por completo do Excel, tarefa a realizar futuramente. A base de dados está preparada para a escrita e leitura simultânea de informação por vários utilizadores, grande versatilidade e disponibilidade para aceitar diferentes *inputs* ao longo dos menus e restrições e avisos sempre que estes são pertinentes. Assegura a consistência e robustez das atividades de armazenagem, escrita e leitura de dados. A aplicação está programada de acordo com as boas práticas gerais de programação em VBA (*Visual Basic for Applications*) e é esta a linguagem de programação utilizada ao longo de toda a aplicação.

A organização na base de dados (DAO DB) tem a lógica habitual da estrutura em tabela bidimensional. com Colunas (*fields*) e linhas (*records*) em que cada registo da tabela principal (Tabela 1) corresponde a um conjunto de elementos de implementação de um determinado trabalho de maquinaria em conjunto com os elementos de processo desse mesmo trabalho. Colunas adicionais especificam a data de inserção, o utilizador que contribuiu com o registo a identificação do arquivo de fotos, identificação do relatório de maquinaria e comentários.

São igualmente enumeradas as diferentes tabelas que constituem os dados da base de dados do sistema e informação principal nelas armazenada (**Erro! Autorreferência de marcador inválida.**):

Tabela 5 - Tabelas de dados na DAO DB construída para o sistema.

Tabela DAO DB	Finalidade
Tabela1	Tabela de elementos de implementação; elementos de processo.
Tabela2	Registos novos adicionados pelos utilizadores (Buffer1).
Tabela3	Dados de restrições a aplicar; gamas de máquinas e ferramentas; gamas de materiais; opções standardizadas entre outra informação de funcionamento.
Tabela4	Tabela de alertas de correção feitos pelo utilizador em relação a determinado registo consultado com as devidas correções sugeridas (Buffer2)
Tabela5	Tabela com o registo de atividade, nomeadamente de consultas efetuadas e resultados das mesmas.
Tabela6	Registo de erros ocorridos durante a utilização da aplicação com respetiva descrição do sistema e descrição do utilizador (caso este registe alguma descrição adicional quando ocorre o erro)
Tabela7	Registo de nomes de passes de acesso aos registos pessoais (de consultas; novos registos; e alertas)
Registo de imagens	Armazenagem de imagens afetas a determinado registo (uma pasta criada automaticamente para cada registo)
Registo de testes	Armazenagem dos relatórios de testes (caso tenham sido realizados) para cada registo. A nomenclatura tem de ser efetuada manualmente segundo determinado padrão pré-estabelecido.

3.6 Funcionalidades e menus de interfaces

Os utilizadores da KDB são os colaboradores afetos às tarefas de programação CAM, estes sempre que considerem adequado vão consultar ou introduzir informação na mesma através das interfaces criadas para o efeito. O modelo de utilização que é esperado ser mais comum é a consulta de condições de corte por elementos de implementação (ou características do trabalho). Esta tarefa é realizada no âmbito da geração de procedimentos CAM na altura da definição dos parâmetros de corte. A Figura 61 apresenta um esquema do procedimento CAM típico e localiza a consulta da KDB criada no mesmo.



Figura 62 - Menu principal.

3.6.1 Ferramenta de procura através das características do trabalho.

Ao seleccionar a primeira opção do menu principal (“Procurar por Características do Trabalho/Cond. de Corte”) o utilizador tem acesso à ferramenta de consulta principal da aplicação onde é possível efetuar a pesquisa inserindo os elementos de implementação pretendidos (Figura 63 e Figura 64). Os registos que correspondem aos resultados consulta aparecem na última página (Figura 65) como será explicado mais adiante.

Subentenda-se que “condições de corte” é o mesmo que “elementos de implementação”, ou seja, são as características do trabalho que têm de estar reunidas para a aplicação dos parâmetros de corte mais uma das ferramentas associadas ao registo. O tópico “Elementos de processo” faz referência a estes elementos aplicados.

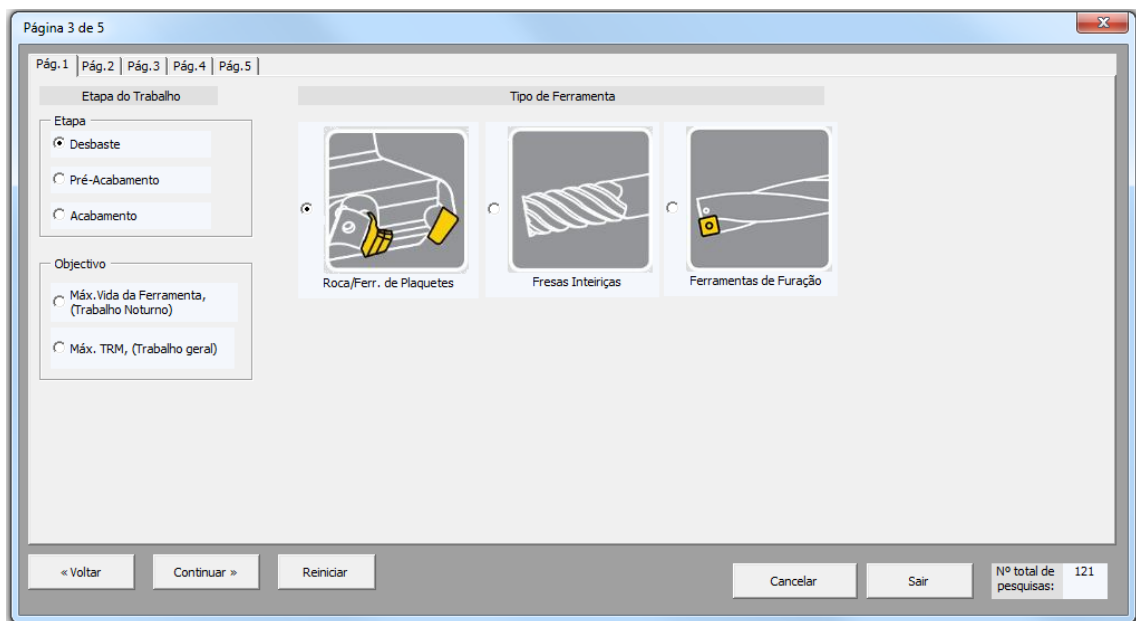


Figura 63 – Pág. 1 do menu de pesquisa.



Figura 64 – Páginas restantes do menu de Consulta de inserção de opções

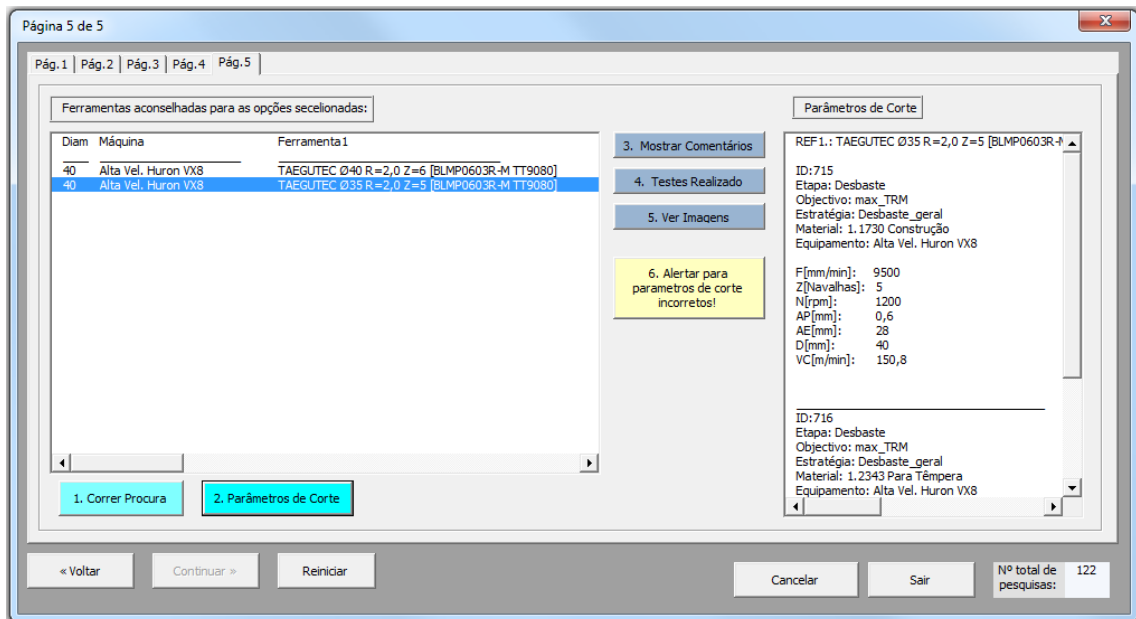


Figura 65 – Última página do menu de procura a apresentar já o resultado da consulta final.

No exemplo apresentado acima por intermédio de figuras foi efetuada uma consulta com os seguintes elementos de implementação inseridos para a procura (Tabela 6).

Tabela 6 - Dados inseridos para a consulta de exemplo.

#	Elemento	Dado inserido para a consulta
1	Etapa	“Desbaste”
2	Objetivo	“Máxima TRM”
3	Tipo de Ferramenta	“Roca/Ferr. de Plaquetes”
4	Tipo de Maquinagem	“Desbaste Geral”
5	Material da peça	“1.1730 Construção”
6	Diâmetro da ferramenta	“40mm”
7	Equipamento	“Alta Vel. Huron VX8”
8	Diâmetro vs Comprimento	“Até 3 vezes”
9	Condições de Estabilidade	“Estabilidade Normal”

As opções da página quatro (Figura 66) afetam os parâmetros de corte apresentados com um acerto, não servindo, como as restantes opções, de filtro de consulta. Os acertos são calculados através de um algoritmo que, consoante o tipo de ferramenta o diâmetro e as escolhas do operador nesta página multiplica os valores base registados por determinada percentagem. Esta percentagem é calculada com base em métodos utilizados pelas marcas de referência estudadas, para cada tipo e diâmetro de ferramenta em relação ao comprimento do alongador (comprimento do corpo da ferramenta fora do dispositivo de fixação-cone ou pinça). De uma forma geral o diâmetro da ferramenta e o comprimento do alongador têm uma relação de linearidade diferente em cada categoria. Os diâmetros de ferramenta dividem-se em quatro categorias para as fresas inteiriças e em três categorias para as ferramentas de insertos de fresagem. O comprimento é dividido da forma que se pode observar no formulário abaixo (Figura 66) relacionando-o com o diâmetro em 5 categorias para ambos os tipos de ferramenta. Por enquanto esta funcionalidade está disponível apenas para estes dois tipos de ferramentas de corte.

Figura 66 - Página quatro onde são selecionadas as opções de estabilidade, que irão afetar a velocidade de avanço e rotação.

Após seleccionar o botão da procura de registos (Figura 67) na página 5 (ver secção 4.7.3 acerca da procura efetuada) são mostradas duas opções à escolha, o que significa que existem dois registos de elementos de processo (parâmetros de corte e afins) já associados aos elementos de implementação que foram introduzidos para a consulta.

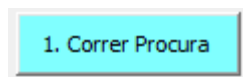


Figura 67 - Botão da procura de registos

Após clicar no botão de procura para elementos de processo (Figura 68) surgem do lado direito as alternativas aos elementos de processo já registados para aquele caso (uma ou mais).

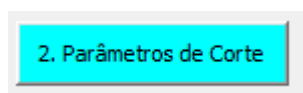


Figura 68 - Botão da procura de elementos de processo (parâmetros de corte).

Para o exemplo em questão, através do procedimento de consulta levado a cabo, são apresentadas ao utilizador duas alternativas de ferramenta (Figura 69), quer isto dizer que existem duas ferramentas aptas a realizar o trabalho, associado a estas condições de trabalho (ferramenta + elementos de implementação inseridos para a procura) surgem os parâmetros de corte que devem ser utilizados.

Ferramenta1	Ferramenta2
TAEGUTEC Ø40 R=2,0 Z=6 [BLMP0603R-M TT9080]	HITACHI Ø40 R=2,0 Z=6 [EP
TAEGUTEC Ø35 R=2,0 Z=5 [BLMP0603R-M TT9080]	

Figura 69 - Alternativas de ferramenta adequadas.

O facto de terem surgido como resultado da consulta dois registos (Figura 70) significa que, nalguma altura do histórico, dois trabalhos caracterizados com os mesmos elementos de implementação foram realizados, considerados como boa prática de maquinaria e registados na base de conhecimento.

Diam	Máquina	Ferramenta1
40	Alta Vel. Huron VX8	TAEGUTEC Ø40 R=2,0 Z=6 [BLMP0603R-M TT9080]
40	Alta Vel. Huron VX8	TAEGUTEC Ø35 R=2,0 Z=5 [BLMP0603R-M TT9080]

Figura 70 - Registos encontrados.

Caso o utilizador não concorde com parte ou totalidade dos parâmetros apresentados como solução da sua consulta, pode (e deve) seleccionar o botão de alerta (Figura 71). Ao ativar esta função surge um formulário de alteração de parâmetros anexo à página 5 (Figura 72), onde o utilizador pode sugerir a alteração de quaisquer elementos de processos. Esta sugestão é guardada com referência ao registo principal para ser analisado mais tarde (pelo gestor do sistema em conjunto com o utilizador em questão).

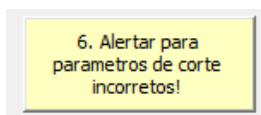


Figura 71 - Botão de alerta, permite ao utilizador sugerir alteração dos elementos de processo.

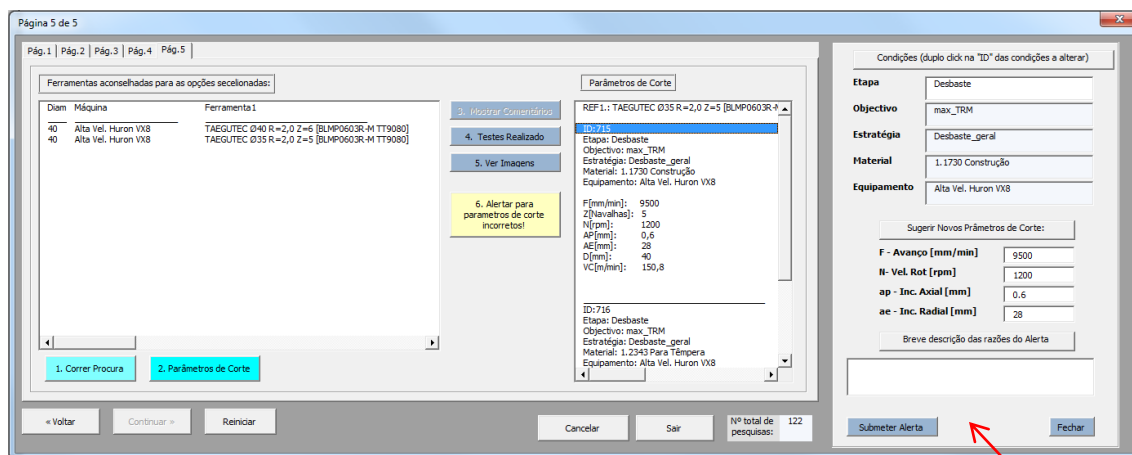


Figura 72 - Última página do menu de procura com o menu de Alertas visível.

Além das funcionalidades apresentadas o utilizador tem a possibilidade de consultar imagens e testes de ferramenta realizados para cada registo na KDB através das opções que ficam disponíveis caso a consulta resulte nalgum resultado. O utilizador seleciona um dos registos (de elementos de processo) e de seguida clica na função desejada (Figura 73).

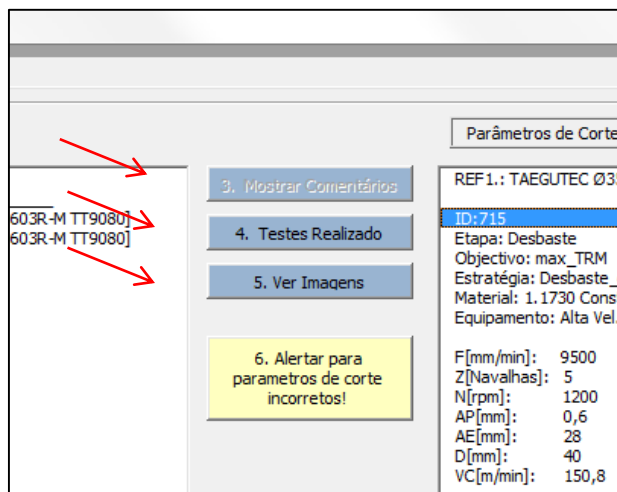


Figura 73 - Funções de "Mostrar Comentários", apresentar "Testes realizados" e "Ver imagens".

A interface apresentada neste exemplo sofre mutações adequadas consoante a escolha efetuada no página 1 em relação ao tipo de ferramenta pretendido. A título de exemplo é apresentada abaixo a página 2 caso na primeira tenha sido escolhido o tipo "Ferramenta de furação" (Figura 74).

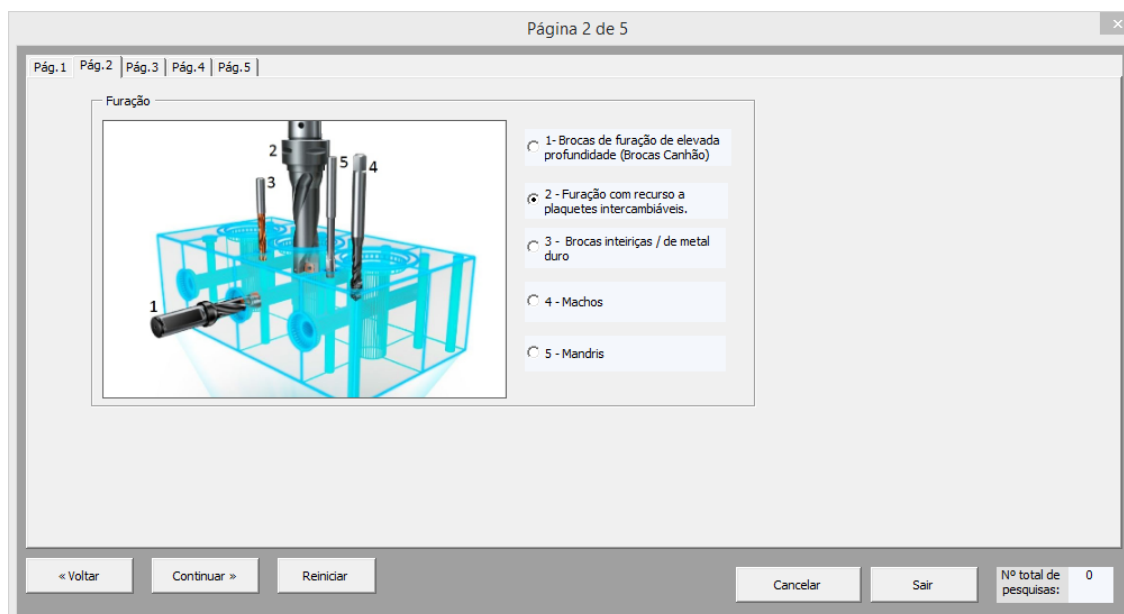


Figura 74 - Apresentação da página 2, caso na página 1 se tenha optado por "ferramentas de furação".

3.6.2 Ferramenta de procura através da listagem de ferramentas existentes

Na segunda opção do menu principal o utilizador tem acesso a uma interface diferente que permite outra forma de consulta (Figura 75). Através da escolha da ferramenta pretendida e da etapa do trabalho é possível verificar se existe registo de elementos de processo para este par de opções (ferramenta + etapa) se existir é mostrado como se pode observar na Figura 76.

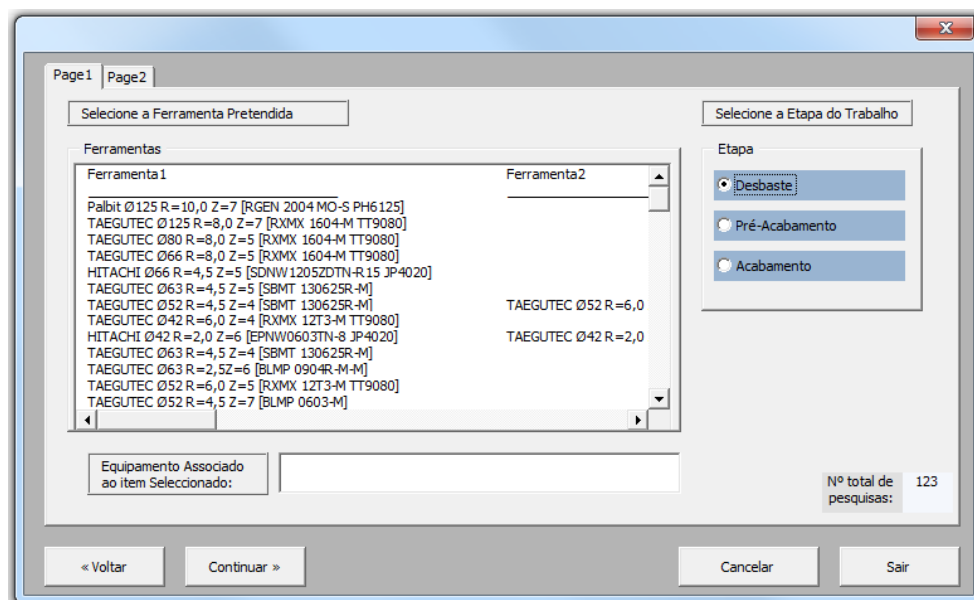


Figura 75 - Formulário de consulta opção número 2 "Procura Ferramentas existentes"

Figura 76 - Resultado apresentado para a consulta através do formulário 2.

Da mesma forma que no formulário 1, o utilizador pode não concordar com os parâmetros que encontrou na sua pesquisa e tem a possibilidade de sugerir uma correção (Figura 77). Tanto as correções provenientes do formulário 1 como as do 2 vão para a tabela 4 da KDB a aguardar averiguação.

Figura 77 - Formulário de "Alerta para parâmetros de corte incorretos" acedido por formulário de procura 2.

3.6.3 Introdução de novo registo

O utilizador tem a possibilidade de inserir um novo registo de raiz acedendo à terceira opção do menu principal “Acrescentar Condições de Corte e Associar Ferram.”. Este procedimento segue o mesmo caminho geral que a consulta no primeiro formulário só que em vez do utilizador estar a seleccionar opções para consulta, está a seleccionar parâmetros que definem os elementos de implementação que quer registar. Além das opções já vistas acima o utilizador pode acrescentar figuras ao registo e comentários adicionais (Figura 78) e a designação de várias opções de ferramentas de corte aptas a realizar este trabalho através do menu da página 5 (Figura 79) que tem a opção de ajuda para ver ferramentas semelhantes já na KDB. Para auxiliar a inserção dos parâmetros de corte, o utilizador tem acesso a uma calculadora de parâmetros de corte onde são calculados instantaneamente valores determinantes como o avanço por dente, velocidade de corte e TRM (Figura 79).

Figura 78 - Acrescentar figuras associadas ao registo.

(NOVO REGISTO) Página 5 de 5

Pág. 1 | Pág. 2 | Pág. 3 | Pág. 4 | Pág. 5

Ferramentas Semelhantes: **VER** Faça DoubleClick sobre a ferramenta abaixo.

Editar Nome da Ferramenta1:

Editar Nome da Ferramenta2:

Editar Nome da Ferramenta3:

Editar Nome da Ferramenta4:

Gravar Novas Cond. Corte

Apagar último registo

Ferramenta de Corte:

Diam. [mm]

Z - Nº de Nav.[uni.]

Prâmetros de Corte:

F - Avanço [mm/min]

N- Vel. Rot [rpm]

ap - Inc. Axial [mm]

ae - Inc. Radial [mm]

Calculos:

Vc - Vel. Corte [m/min] Editar Limpar

fz - Ava/Nav [mm/tooth] Editar Limpar

Q - TRM [cm³/min] Editar Limpar

Caso o calculo não seja feito de imediato clique: Calcular Limpar P.Corte

« Voltar Continuar » Reiniciar Cancelar Sair

Figura 79 - Formulário de Novo registo página 5.

Depois de estar satisfeito com a informação introduzida o operador clica em “Gravar Novas Cond. Corte” que provoca o aparecimento de uma caixa de confirmação com toda a informação introduzida (Figura 80). Esta informação é guardada na KDB na tabela 2 onde fica a aguardar aprovação do gestor do sistema. A aprovação é um exercício entre ambos (utilizador e gestor) ou apenas do gestor. Nenhum registo passa à tabela principal (passível de ser consultada por outros utilizadores antes de ser aprovado).

Deseja guardar o seguinte registo?

CONDICÕES A GUARDAR:

Etapa: Desbaste
 Objectivo: max_TRM
 Estratégia: z_level
 Material: 1.2343 Para Têmpera
 Tipo: Roca
 Máquina: Alta Vel. Huron KX30

Parametros de Corte:

Diametro[mm]: 40
 F[mm/min]: 4100
 Z[Navalhas]: 6
 N[rpm]: 850
 AP[mm]: 0.3
 AE[mm]: 28
 VC[m/min]: 106.8142

Comentarios:

Coment_coment

Ferramentas:

Opção1: TAEGUTEC Ø40 R=2,0 Z=6 [BLMP0603R-M TT9080] (1)
 Opção2:
 Opção3:
 Opção4:

Imagens:

a.JPG
 b.JPG
 c.JPG
 d.JPG
 e.JPG

Sim Não

Figura 80 - Caixa de confirmação da gravação do novo registo com toda a informação inserida.

3.6.4 Consulta e controlo de registos e contribuições pessoais.

Cada utilizador pode consultar a sua atividade pessoal através da opção 5 do menu principal “Registo individual de pesquisa”. Aqui o utilizador pode consultar, não só os resultados de pesquisas anteriores como o registo de informação inserida e alertas efetuados. O registo individual está protegido por nome e palavra passe e pode ser acedido apenas caso a conta de utilizador de rede ativa for a do utilizador em questão. (Figura 81).

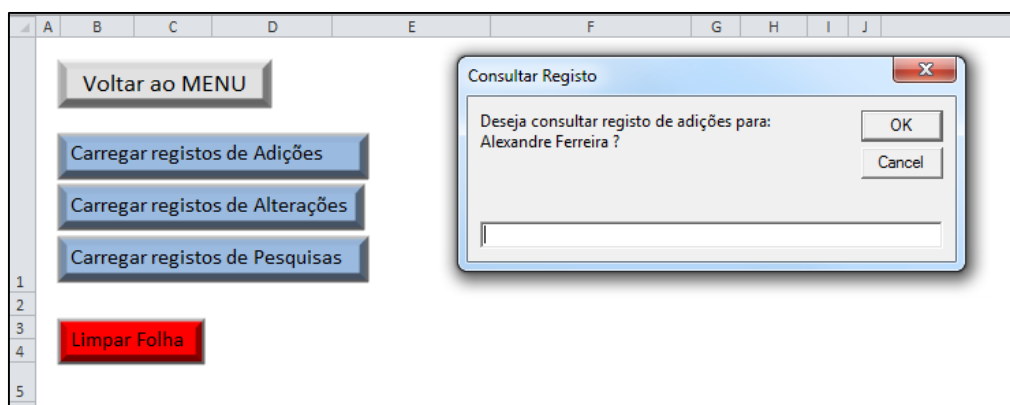


Figura 81 - Página de consulta de registo individual, pedido de palavra passe.

3.6.5 Algoritmos relevantes no funcionamento da Aplicação

Algoritmo de procura de ferramentas na KDB

Depois de inserir os elementos de implementação no formulário o utilizador tem de clicar “procurar”, o algoritmo de procura é apresentado esquematicamente na figura abaixo (Figura 82). A função tem o principal objetivo de alargar automaticamente e consulta caso esta não tenha resultados. A consulta é alargada para materiais e equipamentos da mesma gama como já foi esclarecido anteriormente (na secção 4.4.2). Consoante as hipóteses escolhidas o algoritmo segue uma das vias de pesquisa esquematizadas abaixo.

Hipóteses:

-O utilizador não selecionou nem o “Material” nem a “Máquina”: Caso a consulta não localize nenhum registo surge uma mensagem em conformidade e o algoritmo não faz nada.

-O utilizador selecionou o “Material” mas não selecionou a “Máquina”: Caso a consulta não localize nenhum registo, uma caixa de confirmação surge para alargar a pesquisa para o grupo de materiais do qual faz parte o material escolhido, caso o utilizador aceite o algoritmo apaga o filtro do material escolhido; consulta a tabela3 da KDB (de informação) e atribui o grupo adequado ao material escolhido pelo utilizador; constrói a *string* de requisição à base de dados, desta vez, apenas com o grupo do material e percorre a KDB por correspondências.

-O utilizador não selecionou o “Material” mas selecionou a “Máquina”: Caso a consulta não localize nenhum registo, o algoritmo faz o processo descrito na alínea anterior, mas desta vez para a máquina.

-O utilizador selecionou o “Material” e selecionou a “Máquina”: Caso a consulta não localize nenhum registo, o algoritmo procede de forma semelhante às duas alíneas anteriores, primeiro para o material; verifica resultados; em seguida para a máquina; verifica resultados; e caso ainda não tenha sucesso procede para ambos em simultâneo. Caso encontre resultados nalguma destas tarefas apresenta-os interrompendo o procedimento.

Os resultados são apresentados com a indicação nos campos apropriados (máquina e material) caso tenham sido obtidos através da procura pelos respetivos grupos.

chamados *computerised optimisation systems* [3]. Estes sistemas têm a finalidade principal de melhorar determinado processo com uma metodologia recorrente de aprendizagem. A comparação análise e aprovação dos dados pode ser feita automaticamente (tal como acontece nos sistemas CIM), no entanto, neste caso, essa comparação terá de ser feita pelos utilizadores e principalmente pelo gestor da KDB antes de aprovar os registos para definitivos.

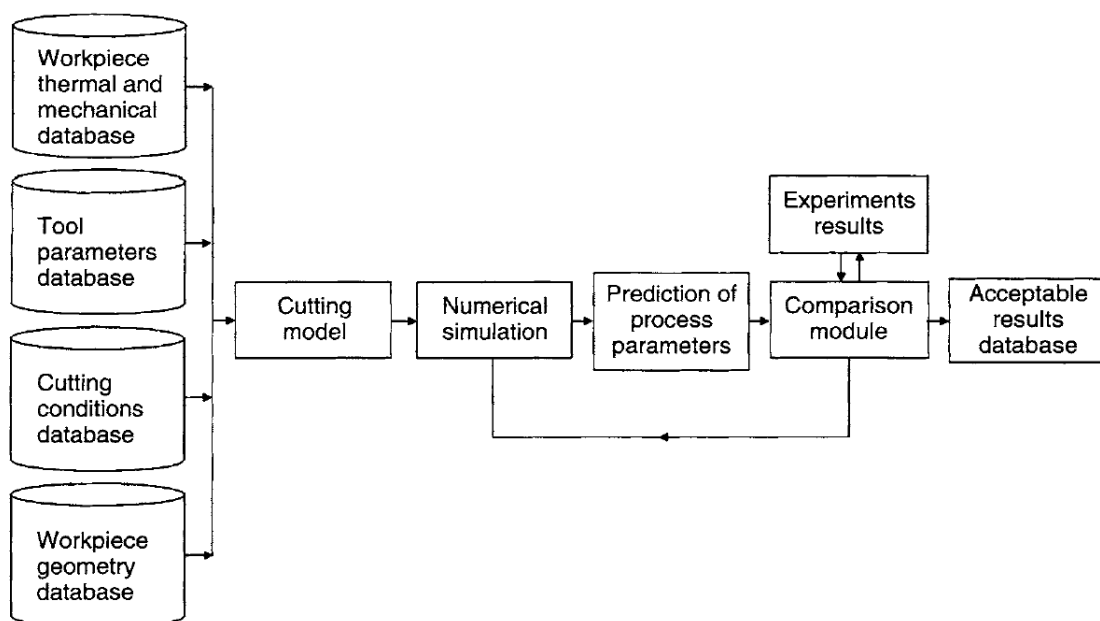


Figura 83 – Representação esquemática dos chamados *computerised optimisation systems* [3].

3.7 Solução encontrada para a atribuição da ferramenta

A escolha da ferramentas é feita através dos testes de ferramentas sempre que é possível realizar este tipo de testes. Na base de conhecimento existe já pelo menos uma ferramenta associada a cada registo, sendo que alguns testes têm 3 ou 4 ferramentas associadas (ferramentas habilitadas a funcionar com os parâmetros de corte registados). A grande maioria de ferramentas atribuídas aos registos não foi ainda testada, pelo que a atribuição é feita de acordo com a opinião do pessoal afeto à fabricação, observação (não registada) no local e também de acordo com as premissas abordadas na secção 3.1.2.

Testes de ferramenta

Quando se realiza um teste de ferramenta, o relatório de testes é arquivado em local apropriado na KDB. O nome tem de corresponder a determinado layout, como já foi referido,

para poder ser associado a um registo da Base de dados e surgir quando o utilizador clica no botão “Teste Realizado” (no formulário 1 de procura de ferramentas).

A ferramenta testada segue a linha de ação esquematizada abaixo na Figura 84, caso tenha resultados suficientes é marcada como a primeira opção de ferramenta e adotada na fabricação se for caso disso.

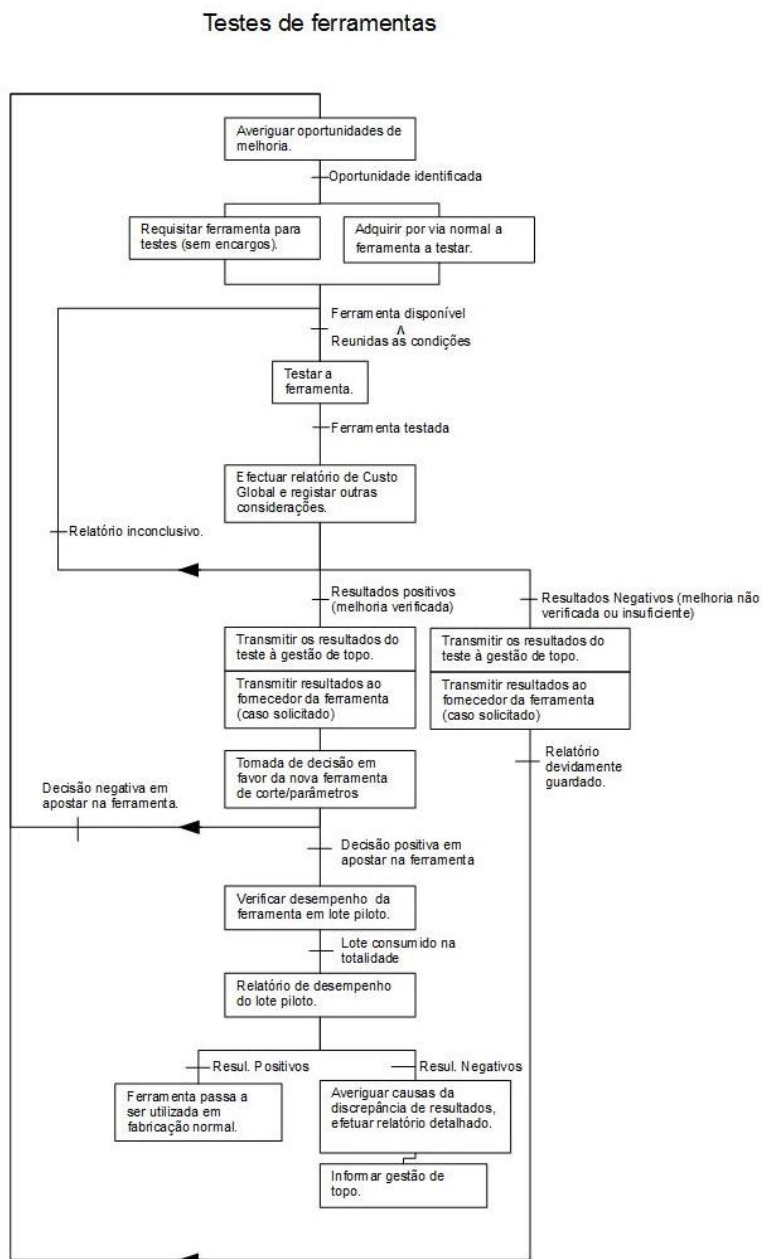


Figura 84 - Esquema da tomada de decisão em relação à utilização de uma nova ferramenta.

3.8 Gestão e manutenção da KDB

A gestão da Base de dados é feita através de aplicações e funções programadas especificamente para o efeito, como é o caso de funções de inserção e consulta, verificação a vários níveis, aplicação de restrições de dados automaticamente, organização, separação e ordenação de dados entre outras tarefas cotidianas da gestão (geral) da KDB. Algumas tarefas de gestão são efetuadas ainda de forma completamente manual. As tarefas do gestor da KDB incluem as seguintes:

Avaliação da informação introduzida

Fica a cargo do gestor do sistema averiguar tanto a informação inserida como novo registo como os alertas provenientes dos formulários 1 e 2 de parâmetros de corte incorretos ou a melhorar (o local da KDB chamado Buffer como foi abordado na bibliografia). Este exercício deve ser feito em conjunto com o colaborador que inseriu. Os registos estão associados ao utilizador e à data de inserção pelo que é possível organizar o trabalho por ordem de chegada e por colaborador.

Todos os registos à data de inserção devem sempre ser confrontados com as práticas atuais para trabalhos semelhantes antes de ser inseridos na KDB.

Construção de funções de verificação

A verificação e atualização dos dados deve ser feita periodicamente. O gestor tem por vezes e inserir grandes quantidades de dados de uma só vez o que implica a verificação exaustiva dos mesmos. Foi já levada a cabo a construção de diversas funções de verificação de aspectos relativos a esta KDB específica para agilizar esse mesmo processo (como por exemplo para verificação das restrições automáticas adicionadas). Estas funções podem ter uma abrangência maior e afetar aspetos relacionados diretamente com a natureza do trabalho e parâmetros de corte cruzando informação e dados de forma automática, a criação deste tipo de ferramentas é um trabalho contínuo.

Registo de informação e Inquéritos de Qualidade e Satisfação

Para proceder ao registo de informação relacionada o funcionamento da aplicação foi criada uma função transversal a todo o código fonte que lida com os erros ocorridos a qualquer altura da utilização da aplicação.

Registo de erros (através de funções error handling)

Função de registo de erros automática que cobre toda a aplicação com campo de preenchimento facultativo. A descrição do erro inclui o procedimento que estava ativo no momento, data e operador e o tipo de erro e se for caso disso, a descrição do operador. Abaixo pode ser observada a caixa de diálogo que surge quando o erro ocorre (Figura 85).

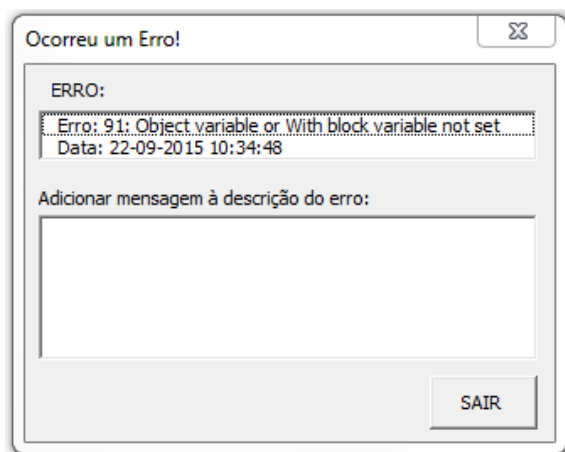


Figura 85 - Caixa de diálogo que surge quando ocorre um erro.

Manter a informação de maquinagem da KDB atualizada e competitiva

Verificar condições de corte mais antigas

-Existe um campo na KDB com a data de inserção do registo, desta forma as condições registada há mais tempo podem ser isoladas e verificadas.

Verificar tendências do mercado e novas ferramentas

A vigilância tecnológica no que toca a ferramentas e respetivas condições de corte, vão evoluído a cada dia. É essencial manter a KDB atualizada e de acordo com as melhores práticas. Dar mais ênfase aos registos de condições de corte correspondentes a peças se que repetem mais na fabricação. Este é um processo contínuo e com trabalho constante. O principal motor de atualização da KDB devem ser os utilizadores que, idealmente, tanto corrigem registos antigos sempre que os encontrem numa das suas consultas, como vão introduzindo novas e melhoradas boas práticas de maquinagem.

3.9 Promoção e incentivo à utilização da KDB

É importante esclarecer e ajudar os colaboradores que vão utilizar este sistema. A promoção do projeto e incentivo à utilização da KDB deve passar pelas seguintes atividades.

- Realização de reuniões de esclarecimento com todos os colaboradores afetos à programação;
- Sincronização de esforços com o sector financeiro e de compras;

- Assegurar a participação e patrocínio da gestão de topo nas reuniões para promover a utilização do sistema;
- Adicionar a componente da avaliação de desempenho na contribuição de conhecimento à KDB, utilização da funcionalidade de registo pessoal de pesquisas e proposta de alterações submetidas para esse efeito.

4. Discussão de resultados

Os dados relativos à utilização da aplicação estão a ser registados através dos procedimentos internos criados na aplicação para o efeito. No entanto, não estão ainda disponíveis uma vez que ainda não passou tempo suficiente desde a implementação da aplicação a uso para um volume de dados considerável.

Pode-se, no entanto, comparar determinado processo de maquinagem em particular, antes e depois de aplicar os parâmetros encontrados no âmbito deste projeto, registados e reutilizados a partir da *KDB*.

A título de exemplo consideremos, então, determinado processo de maquinagem em utilização na área de fabrico antes da implementação da aplicação. Primeiramente, este processo de maquinagem, foi testado tal como era utilizado averiguando o seu desempenho, de seguida foram testados os parâmetros de corte sugeridos e já registados na *KDB*. Por último o registo foi ainda corrigido melhorando ainda mais o desempenho do processo e testado uma última vez confirmando essa mesma melhoria. Estes (três) testes foram efetuados no desbaste de duas peças “iguais” (uma espelhada da outra) no mesmo material e no mesmo equipamento. A ferramenta e os parâmetros de corte foram alterados de um processo para o outro. A afinação final dos parâmetros foi efetuada na parte final do fabrico da segunda peça, pelo que os resultados obtidos são uma estimativa através dos resultados observados no tempo final do teste.

Na Tabela 7, abaixo, são comparados os resultados obtidos entre os dois primeiros testes (teste-1 em relação ao teste-2, com tempos e resultados reais) e do teste-1 com o teste-3 (teste-1 em relação ao teste-3, com tempos e resultados estimados através da taxa de remoção de material e da vida da ferramenta verificados na parte final do fabrico da segunda peça para o teste-3).

Tabela 7 - Comparação do resultado dos testes efetuados.

Resultados	Teste 1	Teste 2		Teste 3 (Estimativa)	
	Total	Total	Diferença em relação ao teste. 1	Total	Diferença em relação ao teste. 1
Tempo total [min]	5195	2740,0	-2455	2472,8	-2722,2
Custo máquina total [u.m.] (com 2 X a diferença)	4225,3	2228,5	-3993,5	2011,2	-4428,1
Custo da Ferr. (só plaquetes) [u.m.]	3240	1032,0	-2208	1076,3	-2163,7
TOTAL	7465,3	3260,5		3087,5	
Diferença total [u.m.]			6201,47		-6591,8
Diferença total [%]			-83,1%		-88,3%

A diferença de desempenho verificada entre a primeira situação e as restantes duas é muito acentuada pelo que se conclui o ganho irrevogável na mudança de elementos de processo para trabalhos deste género (com elementos de implementação iguais). A ferramenta utilizada no primeiro teste não suporta os parâmetros de corte utilizados no segundo nem no terceiro, pelo que é inevitável também uma mudança da ferramenta de corte. O ganho, em relação ao custo total, ultrapassa os 80% em aproximadamente 82 horas de maquinaria de desbaste (Figura86), pelo que é da máxima importância o registo efetivo destas condições de corte na *KDB* para futura reutilização (elementos de cálculo de comparação de custos no anexo E).

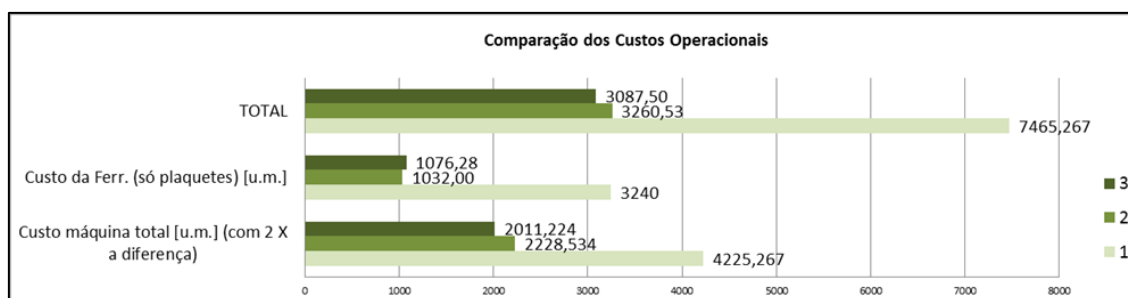


Figura 86 - Comparação de custos operacionais entre os três testes efetuados;

Idealmente todos os trabalhos cujos elementos de implementação sejam iguais aos do trabalho apresentado utilizarão os elementos de processo registados, representado assim, um ganho em relação às condições anteriores sempre que estes se utilizem na fabricação. A utilização da *KDB* visa replicar este processo de otimização na grande maioria dos processos de maquinaria da empresa.

5. Conclusões

A otimização de processos de corte é uma tarefa altamente multidisciplinar, o caminho escolhido deve coexistir com a natureza e características específicas das empresas em conformidade com os objetivos traçados para o projeto. Não se pode enveredar por uma metodologia fechada de otimização esquecendo as outras igualmente verificadas (até certa medida) e, portanto, pertinentes. Uma conjugação de várias metodologias que se completem é a abordagem mais acertada.

É essencial que as empresas ajustem os objetivos principais de otimização da maquinaria com a estratégia de alto nível seguida na empresa. Uma abordagem alternativa é a escolha de uma estratégia multiobjectivo *TQC* [2] que se tem revelado como sendo uma boa solução para cumprir os objetivos de melhoria pré- estabelecidos no seio de uma PME de *OKP*.

A armazenagem e reutilização do conhecimento em processos de IK, considerados os ganhos possíveis de tal sistema, é um assunto que deve começar a interessar a todo o tipo de empresas e não apenas a empresas de tecnologia e serviços líderes mundiais como se tem verificado (caso da Boston Consulting Group, McKinsey, Dell, Philips Electronics, Sony, Matsushita - Panasonic, CapGemini, Ericsson entre outros) [93]. As empresas que utilizam informação em forma de conhecimento para criar os seus produtos de valor acrescentado devem ter a preocupação de analisar e identificar essas formas de informação e, de alguma maneira, reter o máximo possível numa plataforma adequada que permita a reutilização de boas práticas levadas a cabo no passado. Esta reutilização de boas práticas não deve depender apenas da boa memória dos colaboradores afetos a determinada tarefa ou processo. Exercícios destes são importantes também para comparar o estado dos sistemas de produção e processos em relação ao passado e, a partir daí, procurar novas formas de trabalho com vista à melhoria contínua dos mesmos. Empresas que adotem um sistema eficiente e bem estruturado de aferência, retenção e reutilização do conhecimento, seguem sempre o caminho da melhoria, diminuindo até, em grande medida, os efeitos negativos das saídas constantes de especialistas. Os novos colaboradores têm ao seu dispor toda a informação relativa à tarefa para a qual se estão a formar, contida e adequada ao meio e à distância de uma simples consulta.

As ferramentas utilizadas para a manipulação da informação, como é o caso das *KDBs* e respetivas interfaces, devem ser o mais simples, eficientes e adaptadas à empresa possível. A informação deve estar organizada de forma intuitiva e prática para ser mantida, atualizada e reutilizada com o mínimo esforço.

Em relação à otimização dos processos de maquinaria, em particular por corte por arranque de apara, apesar de existirem inúmeros estudos com variados tópicos ligados à otimização por várias vertentes e métodos, na prática, ainda se vai aplicando a metodologia tentativa-erro cujos resultados, apesar de serem válidos, são morosos e, a maior parte das vezes, traduzem uma fração do desempenho que se pode tirar dos processos. Pior que isso, muitas vezes os resultados obtidos em determinada altura não são devidamente registados, só sendo aplicados ao(s) trabalho(s) realizados imediatamente após a averiguação.

Qualquer que seja o processo de otimização (incluindo o da tentativa-erro) é essencial o registo adequado da informação numa base de dados ajustada para o efeito. A reutilização da informação no futuro, a análise e melhoria dessa mesma informação e assim a atualização constante dos registos, é por si só, uma poderosa ferramenta de otimização. Qualquer processo cujo desempenho dependa da qualidade e consistência do conhecimento nessa área é melhorado com a manipulação eficaz desse recurso, a maquinaria não é exceção e, mesmo as empresas com grandes limitações de recursos, podem adotar um sistema semelhante ao criado neste projeto.

A ferramenta criada não tem como objetivo substituir o processo decisivo do programador, mas sim, ajuda-lo nesta tarefa com informação tratada e ajustada que é apresentada após a consulta realizada para esse efeito. O próprio programador, ao ter acesso a tal *KDB* evolui no sentido de melhorar o que já existe em vez de gastar energia a recordar-se de determinada boa-prática, como foi aplicada e em que circunstâncias.

Da análise prévia de comparação de resultados e desempenho dos processos de maquinagem testados utilizando e não utilizando os parâmetros de corte sugeridos, é de esperar um aumento significativo de produção especialmente em processos de desbaste com ferramentas de corte entre os 35 e 66 mm de diâmetro cujo objetivo principal é a máxima taxa de remoção de material para a máxima produção. Em alguns casos foram verificados aumentos de produtividade de mais de 80% em processo de desbaste. Esta melhoria foi possível através de uma análise cuidada do processo, adequando ferramentas, parâmetros de corte e máquina ao trabalho a ser realizado que, em conjunto com informação recolhida de trabalhos anteriores, foi possível obter melhores desempenhos dos equipamentos e ferramentas, este exercício foi já feito diversas vezes durante os testes de ferramentas novas mas também sempre que há oportunidade para tal. Obviamente que as melhores soluções obtidas destes testes foram imediatamente registadas devidamente na *KDB* para poderem ser resgatadas e reutilizadas mais tarde, estes são, provavelmente, os registos adicionados com desempenho mais aprimorado até então. Os registos inseridos sem serem apoiados por testes de maquinagem basearam-se, como já foi referido, em informação proveniente da área de fabricação e de investigação em cada caso, além disso muitos dos registos apesar de terem elementos de implementação diferentes, foram influenciados pelos resultados dos testes feitos sempre que haja determinadas semelhanças, como por exemplo trabalhos de desbaste para o mesmo aço e feitos na mesma máquina.

A grande potencialidade de um sistema deste género é o fato de aumentar a qualidade e quantidade da informação com a utilização ao longo do tempo. Os processos de maquinagem mais utilizados e consultados vão evoluir de forma mais rápida até condições de desempenho muito próximo do limite máximo (imposto pelos limites da máquina, ferramentas de corte e outras restrições). Este procedimento de melhoria pode ser utilizado para qualquer objetivo específico (máxima taxa de remoção de material, máxima qualidade de superfície, mínimo custo de produção) para isso é importante que cada registo da *KDB* tenha uma linha de evolução bem traçada e definida, para isso é necessário atribuir precisamente um objetivo de evolução a cada registo (como foi feito neste caso).

A natureza de um sistema de partilha de conhecimento depende grandemente da vontade das pessoas envolvidas em colaborar com o seu próprio conhecimento. A temática do incentivo à partilha de conhecimento que foi abordada anteriormente em poucos parágrafos tem uma importância crucial para o sucesso da implementação deste sistema.

6. Trabalho Futuro

Dada a introdução recente ao funcionamento da aplicação assente na KDB descrita na secção 3, a quantidade dos dados de utilização não justificou uma análise dos mesmos, no entanto é de máxima importância, depois de existir um registo de utilização mais longo, confrontar todos os dados com os objetivos de utilização estipulados.

Em relação ao inquérito no ato da troca da ferramenta, a quantidade dos dados recolhidos até então torna-os ainda não utilizáveis para análise, no entanto este exercício tem grande potencial no que toca à sincronização e cruzamento de dados relacionados com os consumos de ferramentas em relação aos programas que são utilizados na fabricação, a sua extensão, para cada tipo de maquinaria, diâmetro de ferramenta e máquina. Estes valores podem depois ser confrontados com os resultados da análise de dados destes programas, por exemplo em determinado espaço temporal. Para proceder a esta análise foi criada uma ferramenta que assimila trata e organiza uma grande quantidade de programas CAM em simultâneo dos dois *softwares* em utilização. Em suma, analisar os dados do inquérito de troca de ferramenta em relação aos dados dos programas CAM, verificar discrepâncias acentuadas no consumo de ferramentas em relação ao volume de material cortado ou tempo previsto para cada tipo e diâmetro de ferramenta e para cada etapa do trabalho em relação aos resultados esperados.

O aumento de produção esperado, através dos testes já realizados, pode causar desequilíbrios nas tarefas de programação versos operações de fabrico. Estes desequilíbrios devem ser solucionados antes da performance trazida pela utilização da aplicação ser afetada por excesso de trabalho a nível da programação CAM. Uma amostra deste efeito fez-se notar após a introdução de uma nova ferramenta e parâmetros de corte a determinada altura.

Para agilizar o processo de programação em conjunto com a consulta da KDB seria interessante sincronizar este sistema, de forma automática, com os *softwares* de CAM. Esta questão foi considerada logo à partida, sendo discutida com o fornecedor de *software* CAM, mas a falta de flexibilidade destas ferramentas em termos de organização da informação da forma pretendida impossibilitou a sincronização automática. Para que isto seja possível é necessário ter acesso de alguma forma às bibliotecas próprias do *software* para importar automaticamente resultados da pesquisa efetuada, esta vai ter de ser feita sempre através duma interface criada propositadamente para o efeito.

Existem, normalmente, várias ferramentas de corte aptas para realizar o trabalho que se pretende, estas ferramentas são compatíveis em relação aos suportes e dispositivos de fixação e portanto adquiridas em simultâneo para aproveitar as melhores oportunidades do mercado o que trás vantagens do ponto de vista dos custos de aquisição. No entanto este procedimento, cria entropia na perceção de quantas ferramentas e de que tipo existem e para que servem. Este problema foi resolvido com a criação de um sistema de classificação e nomenclatura de ferramentas interno (como já foi mencionado), no entanto os programadores não têm acesso a esta informação registada no *software* de gestão sem ter de se deslocar e consultar o mesmo. A fim de saberem exatamente as ferramentas que existem, tipos e características, os operadores deveriam ter acesso direto a essa informação, idealmente, no ato da pesquisa em ambiente de

interface do sistema da KDB. É necessário, portanto, a sincronização instantânea do sistema de gestão com a aplicação de escolha de ferramentas em termos de stokes existentes.

Com o decorrer da construção da KDB, tem-se verificado a hipótese de reorganizar o conhecimento de uma forma alternativa, a organização atual mantinha-se, mas havia a possibilidade de sincronizar o conhecimento da maquinagem com o arquivo existente de moldes. Desta forma a consulta incluiria o molde e a peça. No fundo seria acrescentar elementos de implementação aos existentes para poderem servir de filtro à consulta. Tarefa que será averiguada futuramente após a realização do presente projeto.

A nível informático, a utilização do *software* M.S Excel como aplicação hospedeira pode trazer desvantagens do ponto de vista da rapidez e versatilidade. Já com esta problemática em mente, o código fonte foi já refeito retirando até ao máximo possível o recurso a funções e objetos próprios do M.S. Excel. No futuro é pretendida a desconexão por completo do Software Excel criando uma aplicação estável e executável independente. Uma abordagem desta ferramenta para funcionar na máquina virtual java está já a ser desenvolvida com vantagens incontáveis em relação a compatibilidade e versatilidade de utilização em virtualmente todo o tipo de dispositivos inclusive nos tablets introduzidos a uso na empresa (um tablet por cada máquina CNC no âmbito da redução de documentos de maquinagem impressos).

O conhecimento acerca da maquinagem inteligente e sistemas CIM permitem avistar ao longe a implementação de um sistema desta natureza com processos de deteção, aprendizagem e controlo instantâneos, no entanto não é um sistema de fácil implementação e a pertinência da utilização de tal aparato tinha de ser alvo de um estudo aprofundado e análise em relação ao retorno e adaptabilidade à empresa em questão. Numa perspetiva mais realista seria interessante recolher informação relativa a dados de maquinagem em cada programa corrido em cada máquina. Informaticamente não seria demasiado dispendioso nem complexo de ser feito e daria acesso à análise de uma panóplia de relações importantes de serem feitas, desde tempos reais de trabalho versos tempos previsto pelo software CAM, o que permite ajustar TRM calculadas para valores mais aproximados dos que são realmente praticados, relacionar gastos de ferramenta de corte ao tempo real de trabalho e retirar feedback de forma mais completa e rápida do resultado dos trabalhos que foram feitos com parâmetros da KDB. Desta maneira, articulando processos manuais com processos automáticos, seria possível a implementação de um sistema (pseudo) CIM (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.** e **Erro! A origem referência não foi encontrada.**) a curto prazo e sem encargos de implementação demasiado elevados.

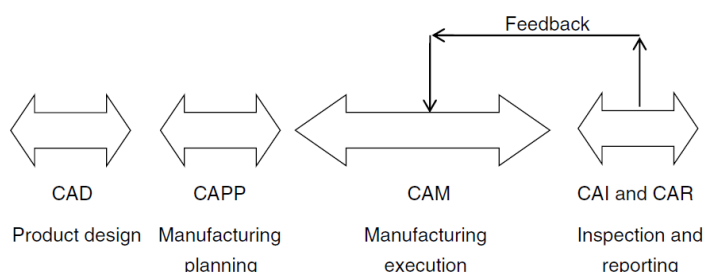


Figura 87 - Secções gerais de um sistema CIM típico. [8]

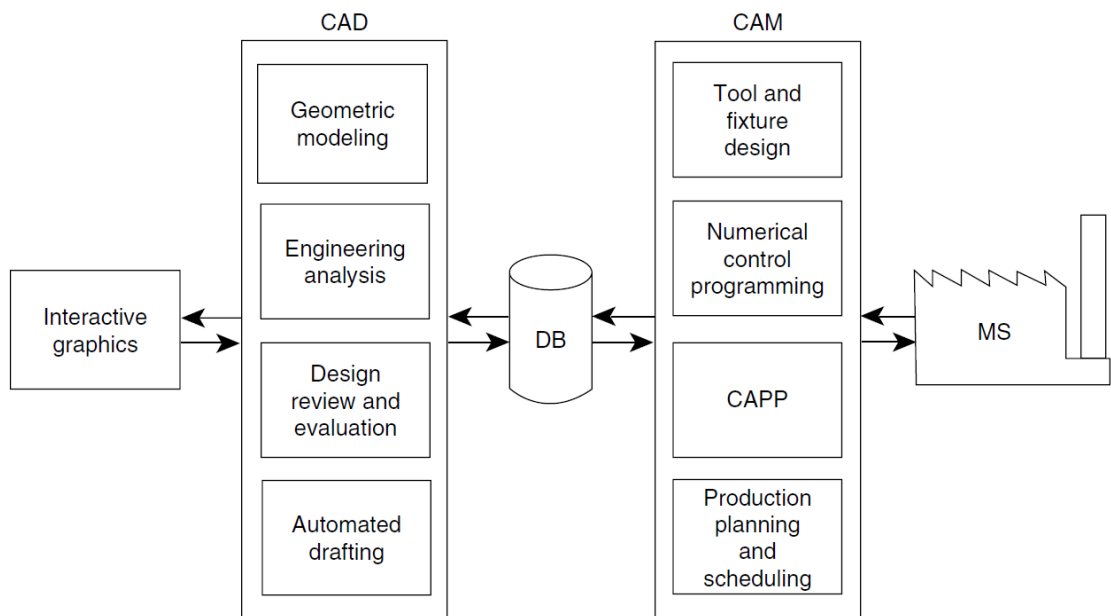


Figura 88 – Sistema integrado CIM (*Computer Intelligent Machining*) [8]

Bibliografia

(segundo ISSO 960)

- [1] - SANDVIK COROMANT (FIRM). Modern metal cutting: a practical handbook. Sandvik Coromant, 1994.
- [2] - Choi, Byoung K., and Robert B. Jerard. *Sculptured surface machining: theory and applications*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [3] - GRZESIK, Wit. *Advanced Machining Processes of Metallic Materials*, 2008. ISBN 978-0-08-044534-2.
- [4] - DAVIM, J. Paulo (ed.). *Machining: fundamentals and recent advances*. Springer Science & Business Media, 2008
- [5] - CHILDS, Thomas. *Metal machining: theory and applications*. Butterworth-Heinemann, 2000.
- [6] - DAVIM, J. Paulo. *Princípios da maquinagem*. 1995.
- [7]- High-Speed Machining - Z Wang, Makino Inc., Mason, OH, USA
M Rahman, National University of Singapore, Singapore; 2014
Elsevier Ltd. All rights reserved
- [8] - YOUSSEF, Helmi A.; EL-HOFY, Hassan. *Machining technology: machine tools and operations*. CRC Press, 2008.
- [10] -Abburi NR, US Dixit (2006) A knowledge-based system for the prediction of surface roughness in turning process. Robot Comput-Integr Manuf 22: 363–372.
- [11] - Sankha Deb and U.S. Dixit. Intelligent Machining: Computational Methods and Optimization. Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Guwahati, Guwahati-781 039, Assam, India.
- [12] - Risbood KA, Dixit US, Sahasrabudhe AD (2003) Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process. J Mater Process Technol 132:203–214.
- [13] – Machining: Generalities and Economics. Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition), 2001, Pages 4698-4703 H.K. Tönshoff
- [14] –ALBERT, Mark. Getting to know knowledge-based machining. *Modern Machine Shop*, 2002, 75.6: 64-77.
- [15] - NEUGEBAUER, R., et al. Velocity effects in metal forming and machining processes. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2011, 60.2: 627-650.

- [16] - Metals and metal products 2007 eurostat
- [17] - Machinery and equipment 2007 eurostat
- [18] - Altintas, Y. and SPENCE, A. End milling force algorithms for CAD systems. *CIRP annals Manufacturing Technology*, vol. 45 1991.
- [19] - ARMAREGO, E. J. A.; BROWN, Robert Hallows. The machining of metals. *PRENTICE-HALL INC, ENGLEWOOD CLIFFS, N. J., 1969, 437 P*, 1969.
- [20] – Santos, Raphael Galdino dos. Desenvolvimento de um método para comparar os limites de estabilidade dinâmica em máquinas-ferramentas utilizando o diagrama de lóbulos / Raphael Galdino dos Santos; Orientador Reinaldo Teixeira Coelho. São Carlos, 2011.
- [21] ASTAKHOV, Viktor P. *Metal cutting mechanics*. CRC press, 1998.
- [22]- MARINOV, Valery. Manufacturing technology. *Cutting Temperature*, 2006, 74.
- [24] - JEFFERSON, Thomas R.; SCOTT, Carlton H. Quadratic geometric programming with application to machining economics. *Mathematical Programming*, 1985, 31.2: 137-152.
- [25] - SHABTAY, Dvir; KASPI, Moshe. Optimization of the machining economics problem under the failure replacement strategy. *International Journal of Production Economics*, 2002, 80.3: 213-230.
- [26] - SANGWAN, Kuldip Singh; SAXENA, Sachin; KANT, Girish. Optimization of Machining Parameters to Minimize Surface Roughness using Integrated ANN-GA Approach. *Procedia CIRP*, 2015, 29: 305-310.
- [27] - MAWUSSI, Kwamivi Bernardin; TAPIE, Laurent. A knowledge base model for complex forging die machining. *Computers & Industrial Engineering*, 2011, 61.1: 84-97.
- [28] - RIDWAN, Firman; XU, Xun. Advanced CNC system with in-process feed-rate optimisation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2013, 29.3: 12-20.
- [29] - ORŁOWSKI, Cezary; SITEK, Tomasz. Measurement of the development of a learning IT organization supported by a model of knowledge acquisition and processing. In: *Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 677-686.

- [30] - DANI, S. S. J. A., et al. A methodology for best practice knowledge management. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2006, 220.10: 1717-1728.
- [31] - Fábio de Oliveira, Estudo das Forças de Corte no Microfresamento da Liga de Alumínio 6351-T6/ Fábio de Oliveira Campos. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.
- [32] - ASTAKHOV, Viktor P. Tribology of Cutting Tools. In: *Tribology in Manufacturing Technology*. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 1-66.
- [40] - <http://www.zw3d.com.pl/> (consultado a 10-set-2015)
- [41] - <http://knowledge.autodesk.com/> (consultado a 10-set-2015)
- [42] - <http://www.sandvik.coromant.com/> (consultado a 10-set-2015)
- [43] - <http://www.mitsubishicarbide.net/> (consultado a 10-set-2015)
- [44] - <https://www.secotools.com> (consultado a 10-set-2015)
- [45] - <http://www.palbit.pt/> (consultado a 10-set-2015)
- [46] - <http://www.practicalmachinist.com/> (consultado a 10-set-2015)
- [48] - <http://www.mathworks.com/> (consultado a 10-set-2015)
- [48] - <http://www.neurosolutions.com/> (consultado a 10-set-2015)
- [49] - International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems <http://www.worldscientific.com/>
- [50] - SECO Tools Main catalogue 2015
- [51] - Palbit Main Catalog 2014
- [52] - <http://www.iscar.com/>
- [55] - <http://www.moldmakinggtechnology.com> (consultado a 10-set-2015)

- [80] - LI, B. M.; XIE, S. Q.; XU, X. Recent development of knowledge-based systems, methods and tools for One-of-a-Kind Production. *Knowledge-Based Systems*, 2011, 24.7: 1108-1119.
- [85]- ALBERT, Mark. Plugging Into STEP NC. *Modern Machine Shop*, 2002
- [87]- Computers & Industrial Engineering
- [86]- ALBERT, Mark. Getting to know knowledge-based machining. *Modern Machine Shop*, 2002, 75.6: 64-77.
- [91]-George J.Y. Hsu, Y.H. Lin, Z.Y. Wei, Competition policy for technological innovation in an era of knowledge-based economy, *Knowledge-Based Systems* 21 (8) (2008) 826–832.
- [92]- David G. Ullman, *The Mechanical Design Process*, Mc Graw-Hill, fourth ed., 2009.
- [93]- JETTER, Antonie, et al. (ed.). *Knowledge integration: the practice of knowledge management in small and medium enterprises*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [94] -YEW WONG, Kuan. Critical success factors for implementing knowledge management in small and medium enterprises. *Industrial Management & Data Systems*, 2005, 105.3: 261-279.
- [95]- UIT BEIJERSE, R. P. Knowledge management in small and medium-sized companies: knowledge management for entrepreneurs. *Journal of knowledge management*, 2000, 4.2: 162-179.
- [100] – WALKENBACH, John. *Excel 2010 Formulas*. Wiley Publishing, 2010.
- [101] – WALKENBACH, John. *Excel® 2007 bible*. John Wiley & Sons, Inc., 2007
- [102]- WALKENBACH. *Excel 2010 power programming with VBA*. John Wiley & Sons, 2010.
- [103] - VINE, Michael. *Microsoft Access VBA programming for the absolute beginner*. Cengage Learning, 2012
- [104]- COOPER, Rob; GRIFFITH, Geoffrey L.; STEIN, Armen. *Access 2007 VBA Programmer's Reference*. Wiley Pub., 2007.
- [105] - Feddema, Helen. *DAO Object Model: The Definitive Reference*. " O'Reilly Media, Inc.", 2000.
- [106] - COX, Brad J. *Object oriented programming*. 1985.
- [107] - SCHMIDT, Douglas C., et al. *Pattern-Oriented Software Architecture, Patterns for Concurrent and Networked Objects*. John Wiley & Sons, 2013.
- [108] - <https://msdn.microsoft.com> (consultado a 10-set-2015)
- [109] - <https://support.microsoft.com> (consultado a 10-set-2015)

- [110] - www.dreamincode.net (consultado a 10-set-2015)
- [111] - www.w3schools.com (consultado a 10-set-2015)
- [112] - <http://stackoverflow.com/> (consultado a 10-set-2015)
- [113] - www.codeproject.com (consultado a 10-set-2015)
- [114] - www.vbtonet.com (consultado a 10-set-2015)
- [115] - www.vbforums.com (consultado a 10-set-2015)
- [116] - dev.mysql.com (consultado a 10-set-2015)
- [117] - www.vb6.us (consultado a 10-set-2015)
- [118] - www.excel-spreadsheet.com (consultado a 10-set-2015)

Anexos

A - ISO 13399 (parâmetros de ferramentas) [42]

B -Troubleshooting Palbit, Main catalog 2015 [51]

C - Tabela de materiais, exemplo ISO – ISCAR Tools.[52]

D - *Elicitation techniques* [93]

E- Metodologia utilizada no cálculo da diferença custo máquina entre processos de maquinagem.

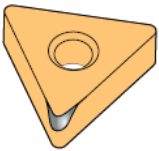
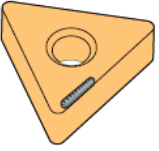
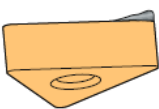
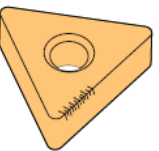
ANEXO (A) - ISO 13399 (parâmetros) [42]

Nome abreviado	Nome recomendado		
ALP	Ângulo de folga axial	DCB	Diâmetro do furo de conexão
ANN	Ângulo de folga menor	DCBN	Diâmetro mínimo do furo de conexão
APMX	Profundidade de corte máxima	DCBX	Diâmetro máximo do furo de conexão
B	Largura da haste	DCF	Diâmetro de corte da face de contato
BAWS	Ângulo - lado da peça	DCON	Diâmetro da conexão
BBD	Balanceado pelo desenho	DCSFMS	Diâmetro da superfície de contato - lado da máquina
BBR	Balanceado pelo teste rotacional	DCSFWS	Diâmetro da superfície de contato - lado da peça
BD	Diâmetro do corpo	DCX	Máximo diâmetro de corte
BHTA	Ângulo do cone de transição	DIX	Máximo diâmetro para interferência no trocador de ferramenta
bs	Comprimento da aresta alisadora	DMIN	Diâmetro mínimo do furo
BSG	Norma	DMM	Diâmetro da haste
CDX	Profundidade máxima de corte	DN	Diâmetro do pescoço
CHW	Largura do chanfro de canto	DSGN	Desenho
CICT	Número de cortes	D1	Diâmetro do furo de fixação
CND	Diâmetro de entrada de refrigeração	FHA	Ângulo de hélice do canal
CNSC	Código do tipo de entrada de refrigeração	FLGT	Espessura da flange
COATING	Cobertura	FTDZ	Para o tamanho do diâmetro da rosca
CNT	Tamanho da rosca de entrada de refrigeração	H	Altura da haste
CP	Pressão de refrigeração	HF	Altura funcional
CRKS	Tamanho da rosca do tirante de tração	HRY	Menor ponto a partir do plano de referência
CTPT	Tipo de operação	HTB	Altura do corpo
CUTDIA	Máximo diâmetro de corte da peça	HTH	Altura
CW	Largura de corte	IC	Diâmetro do círculo inscrito
CWTOLL	Tolerância mínima da largura de corte	INSL	Comprimento da pastilha
CWTOLU	Tolerância máxima da largura de corte	IZC	Código do tamanho da pastilha
CXSC	Código do tipo de saída de refrigeração	KAPR	Ângulo da aresta de corte da ferramenta
CZC	Código do tamanho da conexão	KCH	Chanfro do canto
CZC MS	Código do tamanho da conexão - lado da máquina	L	Comprimento da aresta de corte
CZC WS	Código do tamanho de conexão - lado da peça	LB	Comprimento do corpo
DAH	Diâmetro do furo de acesso	LCF	Comprimento do canal para cavacos
DAXIN	Diâmetro interno mínimo do canal axial	LE	Comprimento efetivo da aresta de corte
DAXX	Diâmetro externo máximo do canal axial	LF	Comprimento útil
Dbc	Diâmetro do círculo para fixação	LGR	Comprimento da reafiação
DC	Diâmetro de corte	LH	Comprimento da cabeça
		LPR	Comprimento da saliência
		LS	Comprimento da haste
		LSC	Comprimento de fixação
		LSCN	Comprimento mínimo de fixação

LSCX	Comprimento máximo de fixação	SSC	Código do tamanho do assento da pastilha
LSD	Comprimento da haste	SUBSTRATE	Substrato
LU	Comprimento útil (máx. recomendado)	TCDC	Classe de tolerância do diâmetro de corte
MHD	Distância do furo de montagem	TCDMM	Tolerância do diâmetro da haste
MIID	Identificação da pastilha padrão	TCHA	Tolerância atingível do furo
MMCC	Código para torque pré-definido	TCT	Classe de tolerância da ferramenta
NOF	Número de canais	TCTR	Classe de tolerância da rosca
OAH	Altura total	TD	Diâmetro da rosca
OAL	Comprimento total	TDZ	Diâmetro da rosca
OAW	Largura total	TFLA	Total flutuação do macho à frente
OHN	Balanço mínimo	TFLB	Total flutuação do macho para trás
OHX	Balanço máximo	THCHT	Tipo de chanfro do macho
PHD	Diâmetro do furo pré-usinado	THFT	Tipo de rosca
PHDX	Diâmetro máximo do furo pré-usinado	THLGTH	Comprimento da rosca
PL	Comprimento da ponta	THUB	Espessura do cubo
PRFRAD	Raio do perfil	TP	Passo da rosca
PRSPC	Especificação do perfil	TPI	Fios por polegadas
PSIR	Ângulo de ataque da ferramenta	TPIN	Mínimos fios por polegada
PSIRL	Ângulo da aresta de corte principal versão esquerda	TPIX	Máximos fios por polegada
PSIRR	Ângulo da aresta de corte principal versão direita	TPN	Passo mínimo da rosca
RADH	Altura radial do corpo	TPX	Passo máximo da rosca
RADW	Largura radial do corpo	TQ	Torque
RE	Raio do canto	TSYC	Código da ferramenta
RETOLL	Tolerância mínima do raio de canto	ULDR	Relação comprimento/diâmetro útil
RETOLU	Tolerância máxima do raio de canto	WB	Largura do corpo
RPMX	Rotação máxima	WF	Largura útil
S	Espessura da pastilha	WSC	Largura de fixação
SDL	Comprimento do diâmetro escalonado	WT	Peso do item
SIG	Ângulo da ponta	W1	Largura da pastilha
		ZEFF	Número efetivo de arestas de corte na parte frontal
		ZEFP	Número efetivo de arestas de corte na periferia
		ZWX	Número máximo de pastilhas alisadoras

Troubleshooting | Solução de Problemas | Solución de Problemas

Tool life problems | Problemas na vida útil da ferramenta | Problemas con la vida útil de la herramienta

Problem Problema	Possible Solution Solução Solución
<ul style="list-style-type: none"> • Flank wear • Desgaste do flanco • Desgaste de la superficie 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce the cutting speed (Vc). • Reduza a velocidade de corte (Vc). • Reducir la velocidad de corte (Vc). • Select a more wear-resistant grade (ex: P40 -> ... -> P10). • Selecione uma classe mais resistente ao desgaste (ex: P40 -> ... -> P10). • Seleccionar una calidad más resistente al desgaste (ex: P40 -> ... -> P10). • Select a toolholder or chipbreaker which allow a bigger relief angle. • Selecione um suporte ou quebra-<i>aparas</i> que permita um ângulo de alívio superior. • Seleccionar un portaherramientas o rompevirutas que permiten un ángulo de alivio superior. <ul style="list-style-type: none"> • Increase the rake angle. • Aumente o ângulo de ataque. • Aumente el ángulo de ataque. • Increase nose radius (Re). • Aumente o raio de canto (Re). • Aumente el radio de punta (Re). • Reduce honing edges. • Reduza arestas boleadas. • Reducir aristas redondeadas.
<ul style="list-style-type: none"> • Crater wear • Craterização • Craterización 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce the cutting speed (Vc). • Reduza a velocidade de corte (Vc). • Reducir la velocidad de corte (Vc). • Reduce the feed rate (Fn). • Reduza o avanço/rotação (Fn). • Reducir el avance (Fn). • Select a more wear-resistant grade (ex: P40 -> ... -> P10). • Selecione uma classe mais resistente ao desgaste (ex: P40 -> ... -> P10). • Seleccionar una calidad más resistente al desgaste (ex: P40 -> ... -> P10). <ul style="list-style-type: none"> • Use coolant. • Utilize refrigeração. • Usar refrigerante. • Increase the rake angle. • Aumente o ângulo de ataque. • Aumente el ángulo de ataque. • Increase nose radius (Re). • Aumente o raio de canto (Re). • Aumente el radio de punta (Re).
<ul style="list-style-type: none"> • Built-up edge • Aresta postiça • Recrecimiento del filo 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase the cutting speed (Vc). • Aumente a velocidade de corte (Vc). • Aumentar la velocidad de corte (Vc). • Reduce the feed rate (Fn). • Reduza o avanço/rotação (Fn). • Reducir el avance (Fn). • Use water-insoluble coolant fluid. • Utilize fluido refrigerante insolúvel em água. • Utilice fluido refrigerante insoluble en agua. • Select a more easy-cutting chipbreaker. • Selecione um quebra-<i>aparas</i> mais positivo. • Seleccionar un rompevirutas de corte más suave. <ul style="list-style-type: none"> • Increase the rake angle. • Aumente o ângulo de ataque. • Aumente el ángulo de ataque. • Reduce honing edges. • Reduza arestas boleadas. • Reducir aristas redondeadas. • Select grade with low tendency to adhesion. • Selecione um grau com baixa tendência a aderência. • Seleccionar un grado con baja tendencia a la adhesión.
<ul style="list-style-type: none"> • Thermal cracks • Trincas térmicas • Grietas en el filo 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce the cutting speed (Vc). • Reduza a velocidade de corte (Vc). • Reducir la velocidad de corte (Vc). • Increase the feed rate (Fn). • Aumente o avanço/rotação (Fn). • Aumentar el avance (Fn). • Use more coolant and correct it volume/accuracy. • Utilize refrigeração em abundância e corrija o seu volume/precisão. • Usar abundante caudal de refrigerante y corregir el volumen / precisión. <ul style="list-style-type: none"> • Reduce honing edges. • Reduza arestas boleadas. • Reducir aristas redondeadas. • Select a tougher grade (ex: P10 -> ... -> P40). • Selecione uma classe mais tenaz (ex: P10 -> ... -> P40). • Seleccionar una calidad más tenaz (ex: P10 -> ... -> P40). • Increase the rake angle. • Aumente o ângulo de ataque. • Aumente el ángulo de ataque.

ANEXO (C) - Tabela de materiais de acordo com a norma ISO. []

#	W.P. Material Description	Group	Material Condition
1	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.25%C.	P	Annealed :125
2	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.25%C.	P	Annealed :190
3	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.55%C.	P	Quench and tempered. :250
4	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55%C.	P	Annealed :220
5	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55%C.	P	Quenched & tempered. :300
6	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	P	Annealed :200
7	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	P	Quenched & tempered :275
8	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	P	Quenched & tempered :300
9	Low alloy & cast steel (less than 5% of alloying elements).	P	Quenched & tempered :350
10	High alloyed steel, cast steel and tool steel.	P	Annealed :200
11	High alloyed steel, cast steel and tool steel.	P	Quenched & tempered :325
12	Stainless steel and cast steel.	P	Ferritic/martensitic :200
13	Stainless steel and cast steel.	P	Martensitic :240
14	Stainless steel and cast steel.	M	Austenitic :180
15	Grey cast iron (GG)	K	Pearlitic/ferritic :180
16	Grey cast iron (GG)	K	Pearlitic/martensitic :260
17	Nodular cast iron (GGG)	K	Ferritic :160
18	Nodular cast iron (GGG)	K	Pearlitic :250
19	Malleable cast iron.	K	Ferritic :130
20	Malleable cast iron.	K	Pearlitic :230
21	Aluminum-wrought alloy.	N	Not cureable : 60
22	Aluminum-wrought alloy.	N	Cured :100
23	Aluminum-cast, alloyed <12% Si.	N	Not cureable : 75
24	Aluminum-cast, alloyed.	N	Cured : 90
25	Aluminum-cast, alloyed >12% Si.	N	High temperature :130
26	Copper alloys >1% pb.	N	Free cutting :110
27	Copper alloys.	N	Brass : 90
28	Copper alloys.	N	Electrolitic copper :100
29	Non metallic.	N	Duro& fiber plastics : 60
30	Non metallic	N	Hard rubber : 55
31	High temp. alloys Fe based.	S	Annealed :200
32	High temp. alloys Fe based.	S	Cured :280
33	High temp. alloys. Ni or Co based.	S	Annealed :250
34	High temp. alloys. Ni or Co based.	S	Cured :350
35	High temp. alloys. Ni or Co based.	S	Cast :320
36	Titanium Ti alloys.	S	:310
37	Titanium Ti alloys.	S	Alpha+beta alloys cu :310
38	Hardened steel.	H	Hardened :560
39	Hardened steel.	H	Hardened :654
40	Chilled cast iron.	H	Cast :400
41	Cast iron.	H	Hardened :560

Table 5.1. Elicitation techniques (based on [7])

Technique	Processing of results	Problems & Concerns
Thinking aloud Test persons are asked to express everything that comes to mind while solving a problem. Expressions should be spontaneous. The flow of thought is not interrupted by the researcher, who documents everything the test person says in writing, on tape or on film.	Knowledge structures are inferred from the sequence of statements. Processing takes place in two steps: Pre-processing: the content of tapes and videos is put in writing. Texts are structured to show the sequence of topics covered. Vocabulary is standardized. Text-coding: coding rules are defined and applied to attribute statements from the text to different categories. To ensure objectivity, usually different persons code the same text.	Thinking-aloud protocols of the same test person in the same situation can vary greatly and often contain thoughts that are not relevant for the problem-solving process. It seems that the technique does not capture all of the knowledge nor does it capture only the knowledge that is needed for problem-solving. Ensuring objectivity of text coding (e.g., through the use of standard vocabularies and independent coding by different researchers) is time-consuming and considered to be problematic.
Sorting Test persons are asked to group stimuli (e.g., note cards with words) in order to build categories of related objects.	Sorting results are visualized in network-like structures. Processing includes the analysis of these structures (e.g., closeness and centrality of concepts) as well as the comparison of different structures (e.g., sorting results of experts and novices).	Sorting techniques vary: sorting objects and categories can be predefined by the researcher or created by the test persons. Categories can be strict (one category per object, clear-cut boundaries) or fuzzy (objects belong to more than one category, varying degrees of membership). Categories can be hierarchically organized or all on the same level, etc. Since sorting exercises are laboratory situations, the validity of the inferred knowledge structures is often challenged.
Probing Test persons are interviewed off-line (after they have solved a problem), online (during problem-solving) or independent of a specific learning situation.	Either pre-existing models of knowledge structures are tested through interviews or knowledge structures are inferred from interview results. Processing hereby depends on the probing technique. Answers to open questions and semi-structured interviews are usually processed in a way similar to thinking-aloud protocols. Structured interviews can be assessed using quantitative techniques.	Probing can deliver rich and detailed knowledge structures. A key problem is the choice of a suitable interview technique that is understood by the test person and does not distort results. A multitude of techniques exist, such as structured interviews, advising (test person explains a topic to a novice in the field), and DOE (Demonstrate-Observe-Explain; test persons predict and explain system behaviour).

ANEXO (E) - Metodologia utilizada no cálculo da diferença de custo-máquina entre processos de maquinagem.

Os cálculos efetuados em relação aos encargos do funcionamento da máquina mais operador, são adquiridos do departamento financeiro que fornece (todos os anos) valores atualizados para os custos de operação de cada equipamento individualmente. Após comparar resultados de determinado par de ferramentas determina-se a diferença entre elas em termos de tempo despendido em máquina, esta diferença entre as duas é contabilizada a dobrar no resultado total de processo. Para melhor percepção do conceito é apresentado na Figura88, abaixo, o espaço temporal de produção de dois componentes onde a barra a azul(A) representa o espaço temporal de produção de um componente e a barra verde(B) a produção do mesmo componente num espaço temporal mais reduzido no mesmo equipamento.

Resultados do teste 1	
Condições de corte "A"	A
Resultados do teste 2	
Condições de corte "B"	B

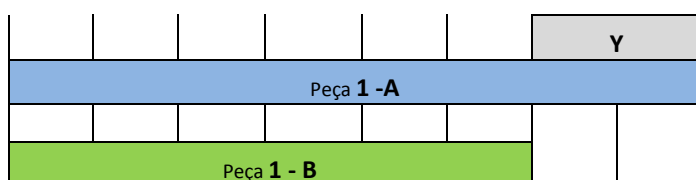


Figura 89 - Representação gráfica do espaço temporal produção (comparação).

Para as condições de corte "A" no espaço temporal "Y", enquanto a "peça 1- A" ainda está em fabrico, a máquina já está livre utilizando as condições de corte "B". Traduzindo na prática, ganhar tempo no fabrico de determinado(s) componente(s) significa produzir o mesmo em menos tempo ganhando a quantidade de tempo poupada e, ao mesmo tempo, seguir na produção de outro(s) componente(s) ainda no tempo poupado. O tempo ganho na produção de determinado conjunto tem assim de ser somado ao tempo (de igual valor) libertado em máquina.