



FABRICAÇÃO AERONÁUTICA

Aeronautical Manufacturing



Preparado por/Prepared by
J. M. Lourenço da Saúde

Editado por Sérgio da Cunha Oliveira

Este documento contém 156 páginas



Índice

Table of contents

Definição de fabricação aeronáutica
Ciclo de vida de projecto aeronáutico
Ciclo de vida de produção aeronáutica
O caso português
Industrialização – generalidades
Industrialização – tipos contratuais
Industrialização “built to print” actividades
Organizações - modelo simplificado
Regulamentação aeronáutica - sistemas de qualidade
Sistemas de qualidade v; “built to print”
Processo de fabricação
Ciclo de industrialização e produção
Gestão de configuração produto e fabrico
Actividades pós-industrialização
Sistemas ERP
Tecnologias produtivas em aeronáutica
Processos não convencionais
Processos convencionais – limpeza e protecções de superfície
Tratamentos orgânicos
Processos de deformação de chapa metálica



Bibliografia de apoio

- Notas das aulas
- Manufacturing Engineering and Technology,
Autor: Kalpakjian, Addison Wesley, ISBN 0-201-84552-0
- Aviation industry quality Systems,
Autor: Michael Dreikorn, American Society for Quality, ISBN 0-87389-331-x
- Fundamental of modern manufacturing-material, processes and systems,
Autor Mikell P. Groover, Prentice Hall, ISBN 0-13312182-8
- EASA PART 21



DEFINIÇÃO DE FABRICAÇÃO AERONÁUTICA

Não existe uma definição única para fabricação aeronáutica.

A que se adopta é a seguinte:

- fabricação aeronáutica é o conjunto articulado e organizado de actividades de engenharia, logística, qualidade e de produção, que com base nas especificações de projecto, incluem a manufactura de peças simples, formação de conjuntos e montagem de itens com aplicação aeronáutica (aeronaves, motores ou quaisquer outros).**

Produção aeronáutica em termos sucintos inclui assim todas as actividades inerentes à manufactura de peças simples e a montagem.

Pode ainda definir-se produção aeronáutica como o conjunto de actividades recorrentes e não recorrentes associadas à construção de aeronaves, motores ou quaisquer outros itens com aplicação aeronáutica.

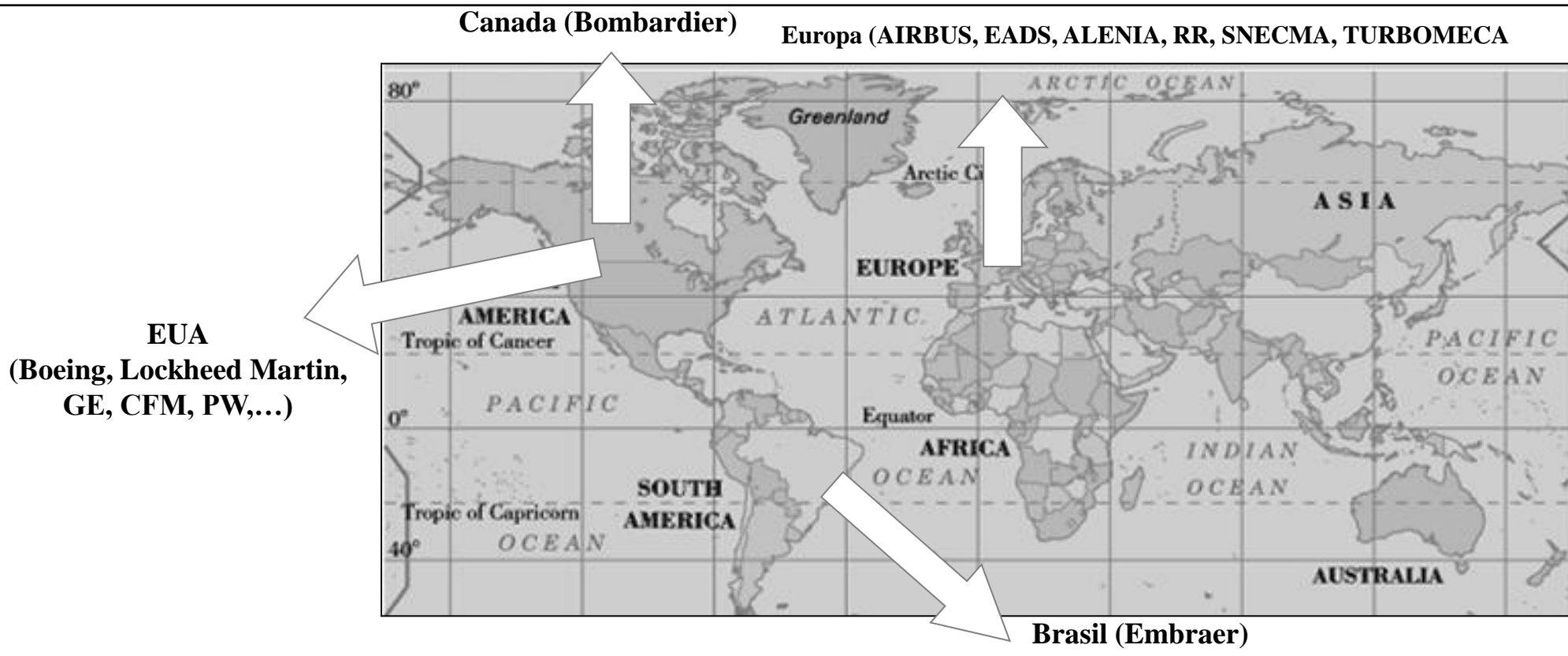


Fig 1 - Principais fabricantes mundiais de material aeronáutico

China –	COMAC - Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd - Comac C919 AVIC I Commercial Aircraft Company (ACAC consortium)
Rússia -	United Aircraft Corporation (UAC) - MS-21 ou Superjet 100 Sukhoi Irkut



PROJECTO AERONÁUTICO

Um PROJECTO é:

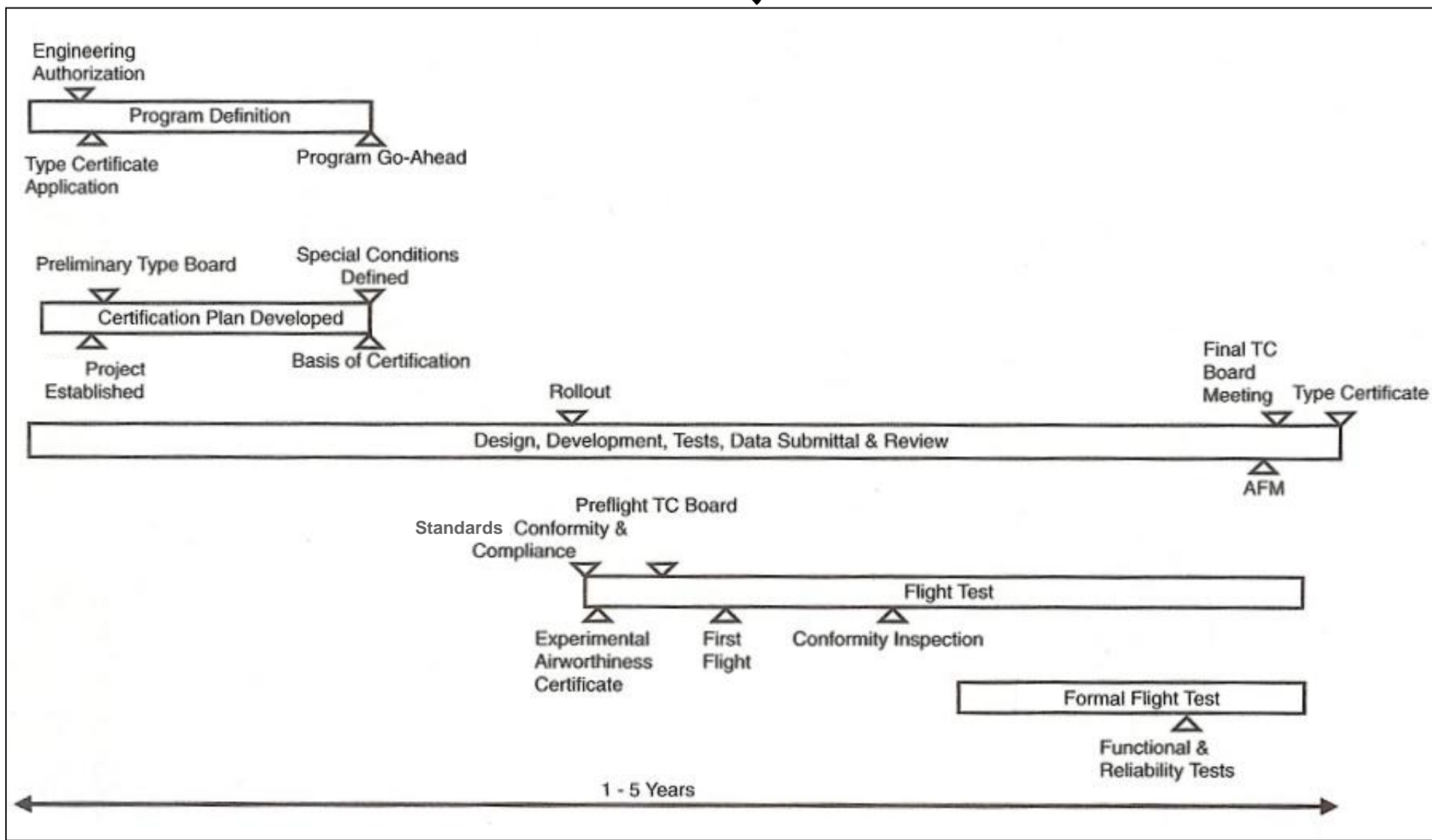
Um esforço temporário com um início e término definidos (normalmente restritos em tempo e muitas vezes constrangido por financiamento ou entregas), empreendidos para atender metas e/ou objectivos claros, e tipicamente para criar mudanças benéficas ou gerar valor acrescentado.

O carácter temporário é o que os destinge da OPERAÇÃO:

Actividades funcionais que são repetitivas, permanentes ou semipermanentes destinadas a produzir produtos ou serviços.



CICLO DE VIDA DE PROJECTO AERONÁUTICO



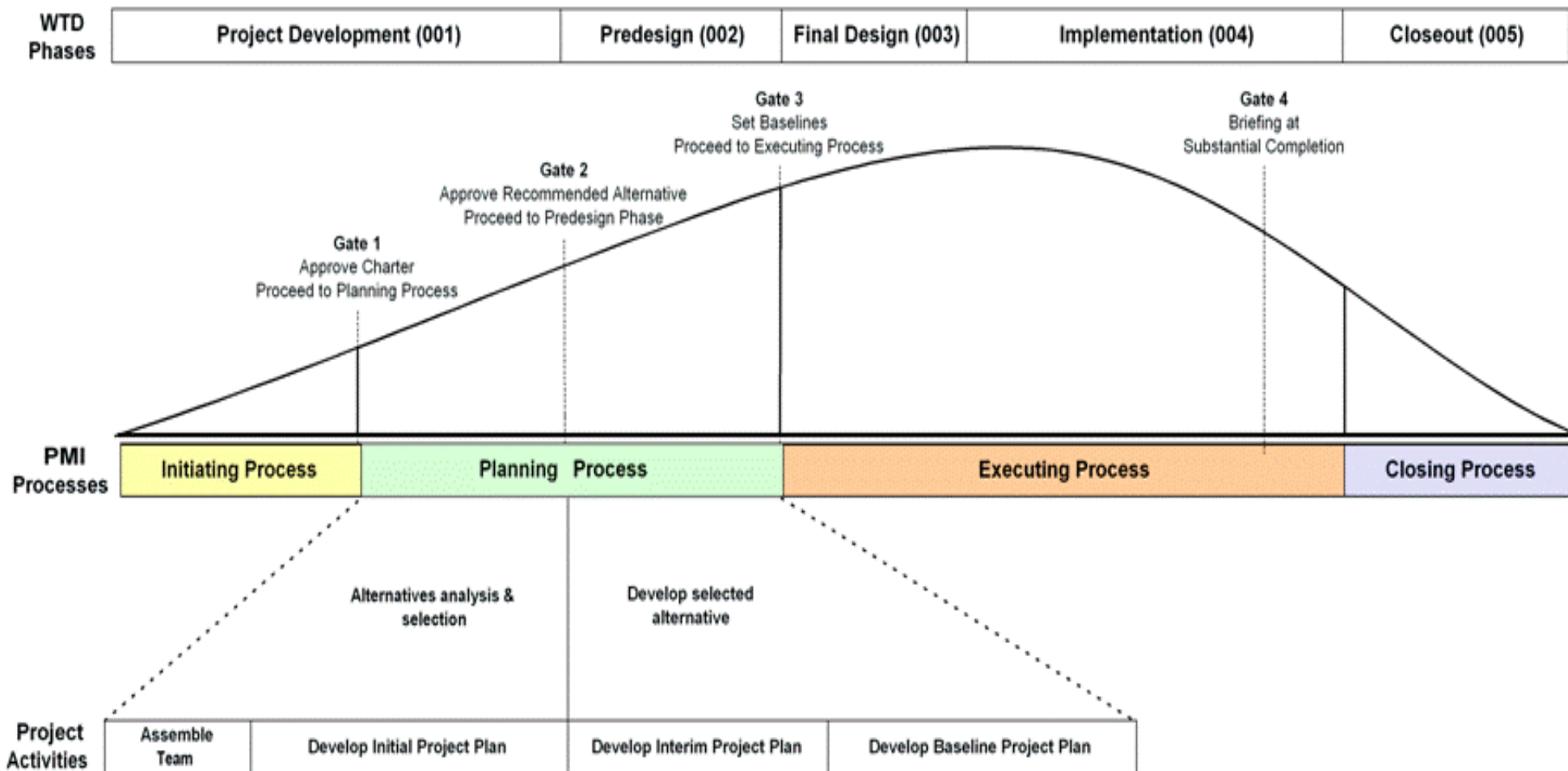


CICLO DE VIDA DE PROJECTO AERONÁUTICO



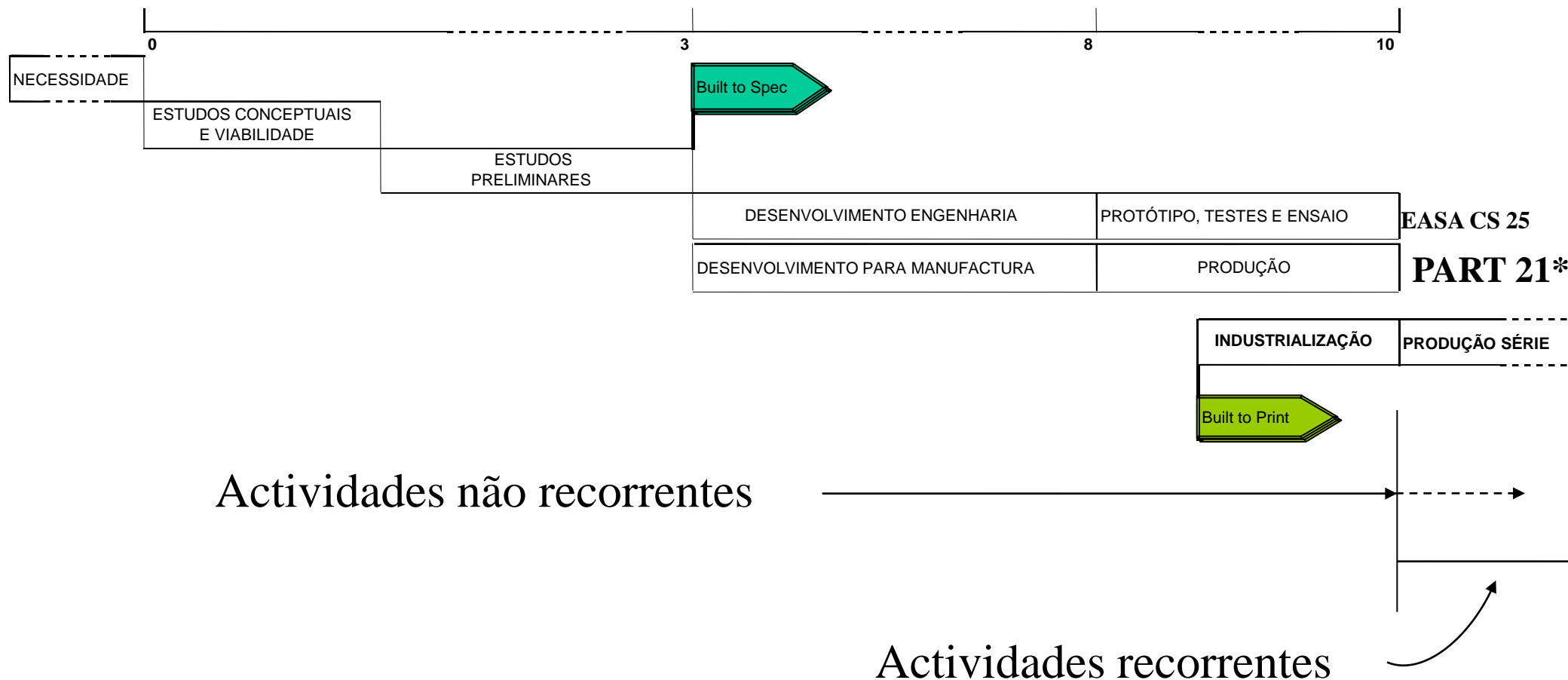


CICLO DE VIDA DE PROJECTO AERONÁUTICO





CICLO DE VIDA DE PRODUÇÃO AERONÁUTICA



* FAR 21/EASA PART 21



O CASO PORTUGUÊS

Em Portugal a empresa que lidera o processo que tem servido como motor para a criação de outras é a OGMA (sediada em Alverca).

Em torno da OGMA nasceram pequenas unidades industriais dedicadas à fabricação de peças simples (maquinação) e montagem de conjuntos.

O trabalho de fabricação aeronáutica (aeronaves e motores) remonta à década de 1950 tendo sido posteriormente reduzido drasticamente devido ao esforço de manutenção que o teatro de guerra ultramarino exigia.

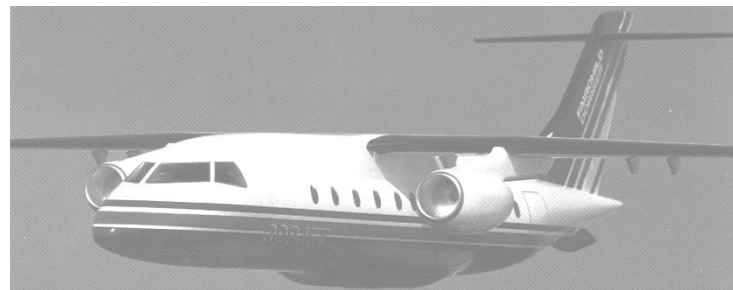
Durante a década de 1980 regressou-se progressivamente à manufactura de partes de aeronaves e de seus componentes, com especial ênfase no fabrico metálico e compósito.

A página seguinte apresenta alguns exemplos da actual capacidade nacional instalada, isto é, do tipo de manufacturas que se tem feito até ao presente.

Caixão central da asa (wing box)



Secções da fuselagem (fabricação e montagem)



Outras actividades de fabricação e montagem

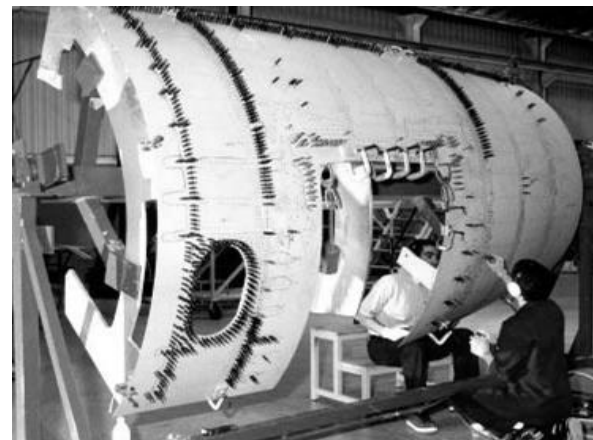
- consolas;
- armários;
- trens de aterragem;
- escada de emergência;
- estruturas primárias da cabine de helicópteros;
- portas de nacelle.
- pylons de fixação de motores

**Montagem da célula, asas e estabilizador
e fabricação de elementos em compósito**

EXEMPLOS DE MANUFATURA AERONÁUTICA NACIONAL



Pilatus PC XII - fuselagem



DO328 - Sector de Fuselagem



DO728 – caixão central da asa (*central wing box*)



INDUSTRIALIZAÇÃO - GENERALIDADES

Definição de industrialização

Conjunto de actividades de natureza não recorrente envolvendo a engenharia, a qualidade, a logística e fabricos tendentes a permitir a produção série.

Opção de fabrico “Built to spec”

É fabrico que envolve projecto contra especificação preliminar (da aeronave ou sistema) ou se quisermos é o tipo de manufactura que engloba prévio desenvolvimento detalhado dos artigos a manufacturar.

Opção de fabrico “*Built to print*”

É fabrico contra especificação final ou se quisermos é o tipo de manufactura que não engloba o projecto dos componentes a manufacturar.

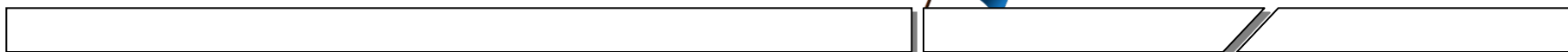


Actividades Não Recorrentes Non Recurring Activities	Actividades Recorrente Recurring activities
Projecto preliminar – conceptual design Projecto de detalhe – detailed design Industrialização - industrialization Fabricação de protótipos – prototypes Suporte - In-servise support Modificações - In service modifications	Produção série – series production

Project Phase



In-service

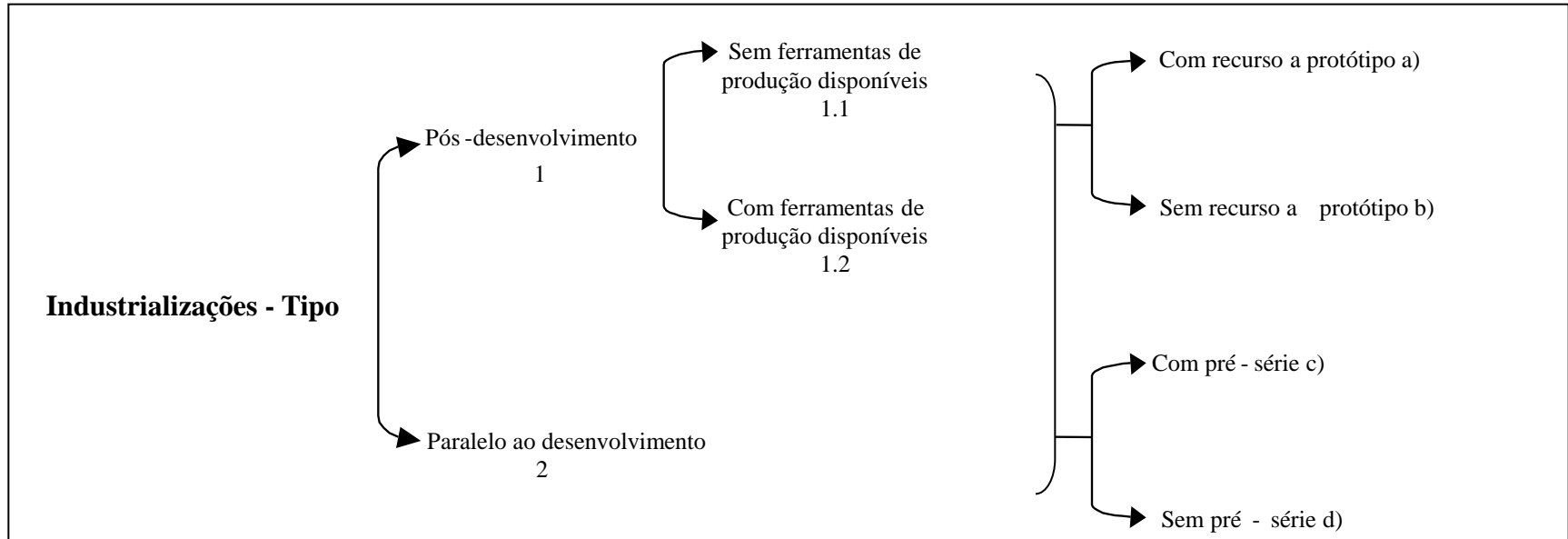


TC

Projecto preliminar – conceptual design
Projecto de detalhe – detailed design
Industrialização - industrialization
Fabricação de protótipos – prototypes

Produção Série / Series production
Suporte - In-servise support
Modificações - In service modifications

INDUSTRIALIZAÇÃO – TIPOS CONTRATUAIS

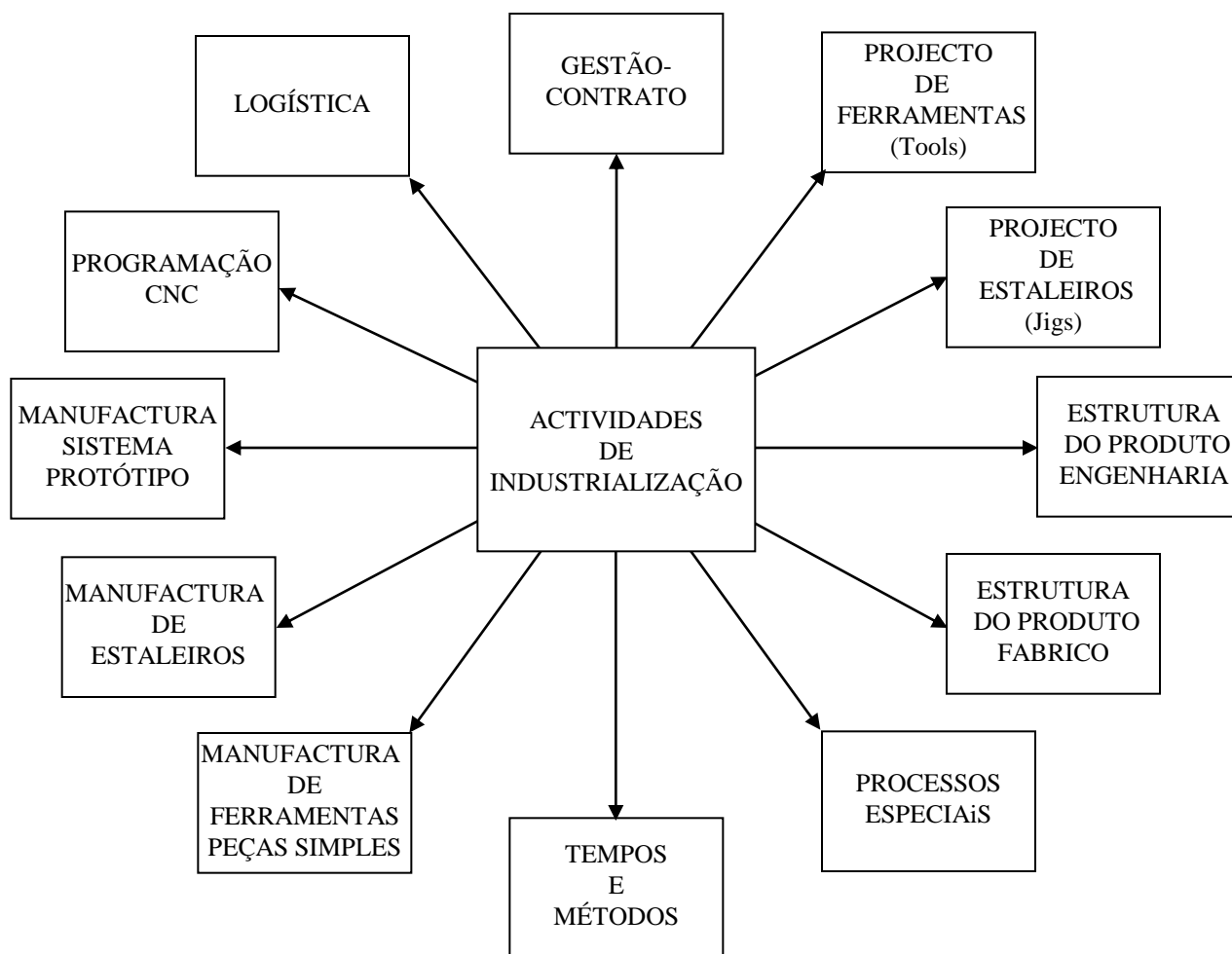


Modalidade de envolvimento na manufactura & Exemplos

- | | |
|-----------|---|
| 1 | Subcontratações (<i>build to print</i>); |
| 2 | Parcerias de projecto (programas de <i>risk e cost sharing</i>): |
| | - FLA/A400M - Alphajet - Airbus; |
| | - Tornado - EFA - Embraer. |
| 1.1 | Nacelle para C- 130J; |
| 1.2 | Pilatus (green aircraft); |
| 1.1a e 2b | Consolas para Awacs; |
| 1.2 b | Dornier 328; |
| 2.c | A400M. |

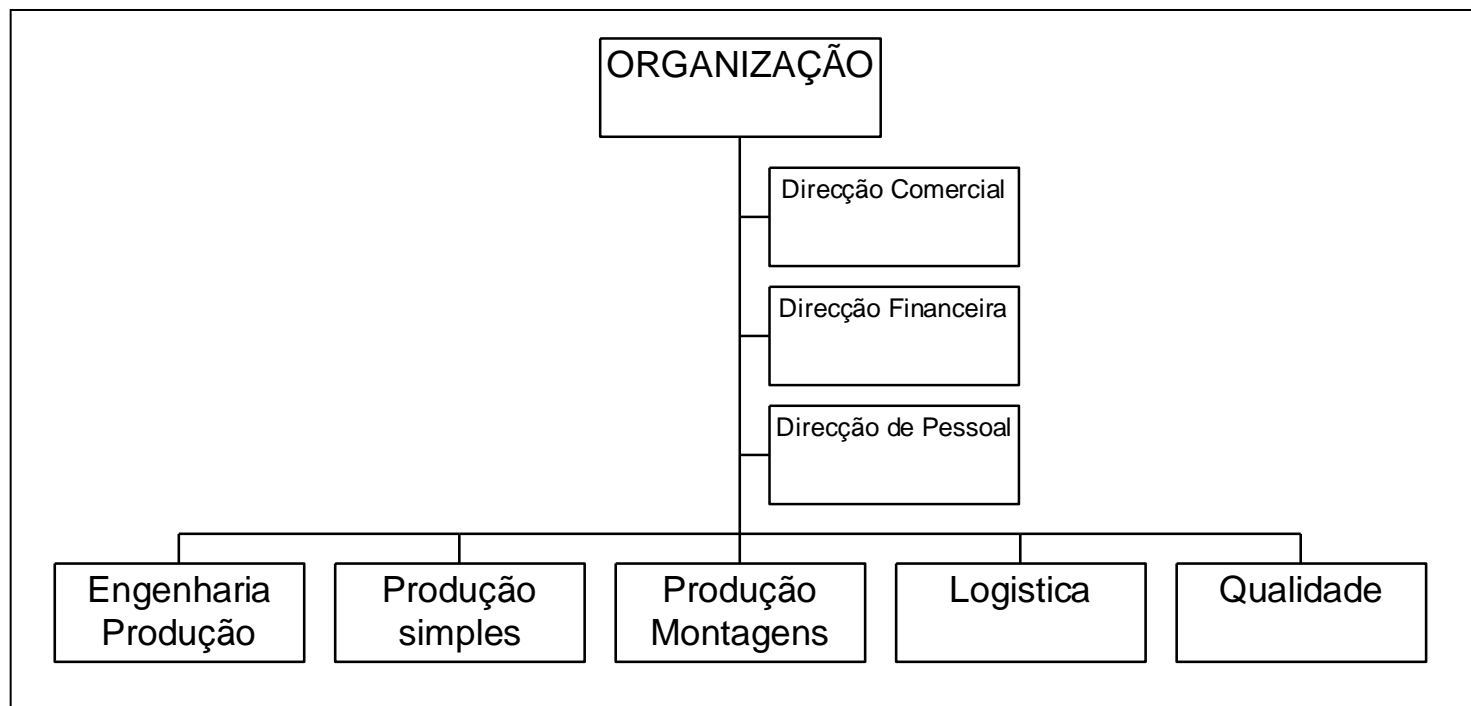


INDUSTRIALIZAÇÃO “BUILT TO PRINT” ACTIVIDADES





Organizações - Modelo simplificado



A figura representa as áreas chave típicas de uma organização de produção:

- Engenharia de Produção – estruturante das actividades
- Produção de peças simples – área tecnológica
- Produção montagens – formação de sub-conjuntos e de conjuntos;
- Logística – abastecimento de matéria prima
- Qualidade – controlo de processos



REGULAMENTAÇÃO AERONÁUTICA

SISTEMAS DE QUALIDADE

Necessidade de regulamentação EASA PART 21

Aspecto chaves:

- controlo documental e de responsabilidades no processo;
- uniformizar procedimentos que garantam a aeronavegabilidade dos produtos e compatibilidade ambiental;
- Assegurar que o fabrico é feito por organizações devidamente credenciadas para o efeito.



Programas multinacionais - exemplo
Multinational programmes

COMMISSION REGULATION (EC) no 1702/2003 - EASA PART 21 FOREWORD

It is necessary to adopt common technical requirements and administrative procedures to ensure the airworthiness and environmental compatibility of aeronautical products, parts and appliances, subject to the basic Regulation; such requirements and procedures should specify the conditions to issue, maintain, amend, suspend or revoke the appropriate certificates.

Organisations involved in the design and production of products, parts and appliances should be required to comply with certain technical requirements ...

The need to ensure uniformity in the application of common airworthiness and environmental requirements for aeronautical products, parts and appliances requires that common procedures be followed by the competent authorities of the Member States and, where applicable, the Agency to assess compliance with these requirements;



Fabricação de cablagens eléctricas
Harnesses/Wiring/looming



EASA PART 21

SECTION A - REQUIREMENTS FOR APPLICANTS AND ACQUIRED RIGHTS AND OBLIGATIONS

SUBPART A — GENERAL PROVISIONS

SUBPART B — TYPE-CERTIFICATES AND RESTRICTED TYPE-CERTIFICATES

(SUBPART C — NOT APPLICABLE)

SUBPART D — CHANGES TO TYPE-CERTIFICATES AND RESTRICTED TYPE-CERTIFICATES

SUBPART E — SUPPLEMENTAL TYPE-CERTIFICATES

SUBPART F — PRODUCTION WITHOUT PRODUCTION ORGANISATION APPROVAL

SUBPART G — PRODUCTION ORGANISATION APPROVAL

SUBPART H — AIRWORTHINESS CERTIFICATES

SUBPART I — NOISE CERTIFICATES

SUBPART J — DESIGN ORGANISATION APPROVAL

SUBPART K — PARTS AND APPLIANCES

(SUBPART L — NOT APPLICABLE)

SUBPART M — REPAIRS

SUBPART N — NOT APPLICABLE)

SUBPART O — EUROPEAN TECHNICAL STANDARD ORDER AUTHORISATIONS

(SUBPART P — NOT APPLICABLE)

SUBPART Q — IDENTIFICATION OF PRODUCTS, PARTS AND APPLIANCES



EEA PART 21

SECTION A

REQUIREMENTS FOR APPLICANTS AND ACQUIRED RIGHTS AND OBLIGATIONS

SUBPART A — GENERAL PROVISIONS

21A.1 Scope

21A.3 Failures, malfunctions and defects

21A.3B Airworthiness directives.

21A.4 Coordination between design and production





FALHAS, ANOMALIAS E DEFEITOS - 21A.3 Failures, malfunctions and defects

(a) System for Collection, Investigation and Analysis of Data.

Possuidores */ de TC, STC e ETSO deverão ter um sistema de recolha, investigação e análise de informação relativa a falhas, mau funcionamento, defeitos ou outras ocorrências com impacto na aeronavegabilidade continuidade.**

Implicações desta exigência:

Existência nos detentores da actividade de projecto (e fabrico) de um sistema do tipo FRACAS (Failure reporting, analysis and corrective action system) que conjugará com outros FMEA (failure mode and effect analysis associados ao cálculo) e FMECA (failure mode, effect and criticality analysis) que capte e analise as ocorrências com impacto na aeronavegabilidade continuada (JAR 25 Appêndice H).

O reporte poderá fazer-se de forma directa para os operadores ou indirecta que é o mais corrente através de Directivas Técnicas (Service Bulletins, Service Letters, etc) categorizados segundo determinadas normas (Flight Safety, Reliability, etc) onde se descreve situações específicas e se apontam as medidas a seguir pelos operadores.

The holder of a Type-Certificate (*), restricted type-certificate, Supplemental Type-Certificate **, European Technical Standard Order (ETSO) authorisation, major Repair Design Approval or any other relevant approval deemed to have been issued under this Regulation **SHALL HAVE A SYSTEM FOR COLLECTING, INVESTIGATING AND ANALYSING REPORTS OF AND INFORMATION RELATED TO FAILURES, MALFUNCTIONS, DEFECTS OR OTHER OCCURRENCES WHICH CAUSE OR MIGHT CAUSE ADVERSE EFFECTS ON THE CONTINUING AIRWORTHINESS** of the product, part or appliance covered by the type-certificate, restricted type-certificate, supplemental type-certificate, ETSO authorisation, major repair design approval or any other relevant approval deemed to have been issued under this Regulation.

INFORMATION ABOUT THIS SYSTEM SHALL BE MADE AVAILABLE TO ALL KNOWN OPERATORS OF THE PRODUCT, PART OR APPLIANCE and, on request, to any person authorised under other associated implementing Regulations.

* Airbus, EADS CASA, Eurocopter, etc

** BAE systems A310 conversion to cargo



21A.4 Coordination between design and production

Each holder of a type-certificate, restricted type-certificate, supplemental type-certificate, ETSO authorisation, approval of a change to type design or approval of a repair design, shall collaborate with the production organisation as necessary to ensure:

- (a) The satisfactory coordination of design and production required by 21A.122 or 21A.133 or 21A.165(c)(2) as appropriate,
- and
- (b) The proper support of the continued airworthiness of the product, part or appliance.

SUBPART G — PRODUCTION ORGANISATION APPROVAL

21A.139 Quality System

- (a) The production organisation shall demonstrate that it has established and is able to maintain a quality system. The quality system shall be documented. This quality system shall be such as to enable the organisation to ensure that each product, part or appliance produced by the organisation or by its partners, or supplied from or subcontracted to outside parties, conforms to the applicable design data and is in condition for safe operation, and thus exercise the privileges set forth in 21A.163.



21A.139 Quality System

1. As applicable within the scope of approval, control procedures for:
 1. Document issue, approval, or change.
 2. Vendor and subcontractor assessment audit and control.
 3. Verification that incoming products, parts, materials, and equipment, including items supplied new or used by buyers of products, are as specified in the applicable design data.
 5. Identification and traceability.
 6. Manufacturing processes.
 7. Inspection and testing, including production flight tests.
 8. Calibration of tools, jigs, and test equipment.
 9. Non conforming item control.
 10. Airworthiness coordination with the applicant for, or holder of, the design approval.
 11. Records completion and retention.
 12. Personnel competence and qualification.
 13. Issue of airworthiness release documents.
 14. Handling, storage and packing.
 15. Internal quality audits and resulting corrective actions.
 16. Work within the terms of approval performed at any location other than the approved facilities.
 17. Work carried out after completion of production but prior to delivery, to maintain the aircraft in a condition for safe operation.

The control procedures need to include specific provisions for any critical parts.

2. An independent quality assurance function to monitor compliance with, and adequacy of, the documented procedures of the quality system. This monitoring shall include a feedback system an account manager ... to ensure, as necessary, corrective action.



21A.143 Exposition

(a) The organisation shall submit to the Competent Authority a production organisation exposition providing the following information:

1. A statement signed by the accountable manager confirming that the production organisation exposition and any associated manuals which define the approved organisation's compliance with this Subpart will be complied with at all times.
2. The title(s) and names of managers accepted by the Competent Authority
3. The duties and responsibilities of the manager(s) including matters on which they may deal directly with the Competent Authority on behalf of the organisation.
4. An organisational chart showing associated chains of responsibility of the managers
5. A list of certifying staff
6. A general description of man-power resources.
7. A general description of the facilities located at each address specified in the production organisation's certificate of approval.
8. A general description of the production organisation's scope of work relevant to the terms of approval.
9. The procedure for the notification of organisational changes to the Competent Authority.
10. The amendment procedure for the production organisation exposition.
11. A description of the quality system and the procedures
12. A list of ...outside parties ...

(b) The production organisation exposition shall be amended as necessary to remain an up-to-date description of the organisation, and copies of any amendments shall be supplied to the Competent Authority.



21A.165 Obligations of the holder

The holder of a production organisation approval shall:

- (a) Ensure that the **production organisation exposition** furnished in accordance with 21A.143 and the documents to which it refers, are used as basic working documents within the organisation.
- (b) **Maintain the production organisation** in conformity with the data and procedures approved for the production organisation approval.
- (c):
 - 1.
 - 2. Determine that other products, parts or appliances are complete and conform to the approved design data and **are in condition for safe operation before issuing EASA Form 1 to certify airworthiness**, and additionally in case of engines, determine according to data provided by the engine type-certificate holder that each completed engine is in compliance with the applicable emissions requirements current at the date of manufacture of the engine, to certify emissions compliance, or
 - 3. Determine that other products, parts or appliances conform to the applicable data before issuing **EASA Form 1 as a conformity certificate**;
- (d) **Record** all details of work carried out.

21A.165 Obligations of the holder

The holder of a production organisation approval shall:

- (e) Establish and **maintain an internal occurrence reporting system** in the interest of safety, to enable the collection and assessment of occurrence reports in order to identify adverse trends or to address deficiencies, and to extract reportable occurrences. This system shall include evaluation of relevant information relating to occurrences and the promulgation of related information.
- (f):
 - 1. **Report to the holder of the type-certificate** or design approval, all cases where products, parts or appliances have been released by the production organisation and subsequently identified to have possible deviations from the applicable design data, and investigate with the holder of the type-certificate or design approval in order to identify those deviations which could lead to an unsafe condition.
 - 2.
 - 3. Where the holder of the production organisation approval is acting as a supplier to another production organisation, **report also to that other organisation all** cases where it has released products, parts or appliances to that organisation and subsequently identified them to have possible deviations from the applicable design data.



21A.165 Obligations of the holder

The holder of a production organisation approval shall:

- (g) **Provide assistance to the holder of the type-certificate** or design approval in dealing with any continuing airworthiness actions that are related to the products parts or appliances that have been produced.
- (h) **Establish an archiving system** incorporating requirements imposed on its partners, suppliers and subcontractors, ensuring conservation of the data used to justify conformity of the products, parts or appliances. Such data shall be held at the disposal of the Competent Authority and be retained in order to provide the information necessary to ensure the continuing airworthiness of the products, parts or appliances.

SUBPART K — PARTS AND APPLIANCES

21A.301 Scope

....

21A.303 Compliance with applicable requirements

....

21A.305 Approval of parts and appliances

.....

21A.307 Release of parts and appliances for installation

No part or appliance (except a standard part), shall be eligible for installation in a type-certificated product unless it is:

- (a) Accompanied by an authorised release certificate (EASA Form 1), certifying airworthiness; and
- (b) Marked in accordance with Subpart Q.



SUBPART Q — IDENTIFICATION OF PRODUCTS, PARTS AND APPLIANCES

21A.801 Identification of products

(a) The identification of products shall include the following information:

1. Manufacturer's name.
2. Product designation.
3. Manufacturer's Serial number.
4. Any other information the Agency finds appropriate.

(b) Any natural or legal person that manufactures an aircraft or engine ... shall identify that aircraft or engine by means of a fireproof plate that has the information specified in paragraph (a) marked on it by etching, stamping, engraving, or other approved method of fireproof marking. The identification plate shall be secured in such a manner that it is accessible and legible, and will not likely be defaced or removed during normal service, or lost or destroyed in an accident.

(c) Any natural or legal person that manufactures a propeller, propeller blade, or propeller hub .. shall identify it by means of a plate, stamping, engraving, etching or other approved method of fireproof identification that is placed on it on a non-critical surface, contains the information specified in paragraph (a), and will not likely be defaced or removed during normal service or lost or destroyed in an accident.

(d) For manned free balloons, the identification plate prescribed in paragraph (b) shall be secured to the balloon envelope and shall be located, if practicable, where it is legible to the operator when the balloon is inflated. In addition, the basket and any heater assembly shall be permanently and legibly marked with the manufacturer's name, part number, or equivalent, and serial number, or equivalent.



SUBPART Q — IDENTIFICATION OF PRODUCTS, PARTS AND APPLIANCES

21A.803 Handling of identification data

- (a) No person shall remove, change, or place identification information referred to in 21A.801(a) on any aircraft, engine, propeller, propeller blade, or propeller hub, or in on an APU, without the approval of the Agency.
- (b) ...
- (c) By way of derogation from paragraphs (a) and (b), any natural or legal person performing maintenance work under the applicable associated implementing rules may, in accordance with methods, techniques and practices established by the Agency:
 - 1. Remove, change, or place the identification information referred to in 21A.801(a) on any aircraft, engine, propeller, propeller blade, or propeller hub, or on an APU; or
 - 2. Remove an identification plate for an APU, when necessary during maintenance operations.
- (d) No person shall install an identification plate removed in accordance with subparagraph (c)(2) on any aircraft, engine, propeller, propeller blade, or propeller hub other than the one from which it was removed.

21A.804 Identification of parts and appliances

- (a) Each manufacturer of a part or appliance shall permanently and legibly mark the part or appliance with:
 - 1. a name, trademark, or symbol identifying the manufacturer; and
 - 2. the part number, as defined in the applicable design data; and
 - 3. the letters EPA (European Part Approval) for parts or appliances produced in accordance with approved design data not belonging to the type-certificate holder of the related product, except for ETSO articles.
- (b) By way of derogation from paragraph (a), if the Agency agrees that a part or appliance is too small or that it is otherwise impractical to mark a part or appliance with any of the information required by paragraph (a), the authorised release document accompanying the part or appliance or its container shall include the information that could not be marked on the part.



SUBPART Q — IDENTIFICATION OF PRODUCTS, PARTS AND APPLIANCES

21A.805 Identification of critical parts

In addition to the requirement of 21A.804, each manufacturer of a part to be fitted on a type-certificated product which has been identified as a critical part shall permanently and legibly mark that part with a part number and a serial number.

21A.807 Identification of ETSO articles

- (a) Each holder of an ETSO authorisation ... shall permanently and legibly mark each article with the following information:
1. The name and address of the manufacturer;
 2. The name, type, part number or model designation of the article;
 3. The serial number or the date of manufacture of the article or both; and
 4. The applicable ETSO number.
- (b) **By way of derogation** from paragraph (a), if the Agency agrees that a part is too small or that it is otherwise impractical to mark a part with any of the information required by paragraph (a), the authorised release document accompanying the part or its container shall include the information that could not be marked on the part.
- (c) Each person who manufactures an APU ... shall identify that APU by means **of a fireproof plate** that has the information specified in paragraph (a) marked on it by etching, stamping, engraving, or other approved method of fireproof marking. The identification plate shall be secured in such a manner that it is accessible and legible, and will not likely be defaced or removed during normal service, or lost or destroyed in an accident.



SUBPART M – REPAIRS

21A.431 Scope

- (a) This Subpart establishes the procedure for the approval of repair design, and establishes the rights and obligations of the applicants for, and holders of, those approvals.
- (b) A **'repair'** means elimination of damage and/or restoration to an airworthy condition following initial release into service by the manufacturer of any product, part or appliance.
- (c) **Elimination of damage by replacement of parts** or appliances without the necessity for design activity shall be considered as a maintenance task and shall therefore require no approval under this Part.
- (d) A repair to an ETSO article shall be treated as a change to the ETSO design

21A.432 Eligibility

- (a) Any natural or legal person that has demonstrated, or is in the process of demonstrating, its capability under 21A.432 B shall be eligible as an applicant for a major repair design approval under the conditions laid down in this Subpart.
- (b) Any natural or legal person shall be eligible to apply for approval of a minor repair design.

21A.432B Demonstration of capability

- (a) An applicant for a major repair design approval shall demonstrate its capability by holding a **design organisation approval**,
....
- (b) **By way of derogation** from paragraph (a), as an alternative procedure to demonstrate its capability, an applicant may seek Agency agreement for the use of procedures setting out the specific design practices, resources and sequence of activities necessary to comply with this Subpart.



SUBPART M – REPAIRS

21A.433 Repair design

(a) The applicant for approval of a repair design shall:

1. Show compliance **with the type-certification** basis and environmental protection requirements incorporated by reference in the type-certificate or supplemental type-certificate, as applicable, or those in effect on the date of application (for repair design approval), plus any amendments to those certification specifications or special conditions the Agency finds necessary to establish a level of safety equal to that established by the type-certification basis incorporated by reference in the type-certificate or supplemental type-certificate.
2. Submit all necessary substantiation data, when requested by the Agency.
3. Declare compliance with the certification specifications and environmental protection requirements of subparagraph (a)(1).

(b) **Where the applicant is not the type-certificate or supplemental type-certificate holder**, as applicable, the applicant may comply with the requirements of paragraph (a) through the use of its own resources or through an arrangement with the type-certificate or supplemental type-certificate holder as applicable.

21A.435 Classification of repairs

- (a) A repair may be 'major' or 'minor'. The classification shall be made in accordance with the criteria of 21A.91 for a change in the type design.
- (b) A repair shall be classified 'major' or 'minor' under paragraph (a) either:
1. By the Agency, or
 2. **By an appropriately approved design organisation under a procedure agreed** with the Agency.



SUBPART M — REPAIRS

21A.437 Issue of a repair design approval

When it has been declared and has been shown that the repair design meets the applicable certification specifications and environmental protection requirements of 21A.433(a)(1), it shall be approved:

- (a) by the Agency, or
- (b) by an appropriately approved organisation that is also the type-certificate or the supplemental type-certificate holder, under a procedure agreed with the Agency, or
- (c) for minor repairs only, by an appropriately **approved design organisation** under a procedure agreed with the Agency.

21A.439 Production of repair parts

Parts and appliances to be used for the repair shall be manufactured in accordance with production data based upon all the necessary design data as provided by the repair design approval holder:

- (a) Under Subpart F, or
- (b) By an organisation appropriately approved in accordance with Subpart G, or
- (c) By an **appropriately approved maintenance organisation**.

21A.441 Repair embodiment

- (a) The embodiment of a repair shall be made by an appropriately approved maintenance organisation, or by a production organisation appropriately approved ...
- (b) The design organisation shall transmit to the organisation performing the repair all the necessary installation instructions.



SUBPART M – REPAIRS

21A.443 Limitations

A repair design may be approved subject to limitations, in which case the repair design approval shall include all necessary instructions and limitations. These instructions and limitations shall be transmitted by the repair design approval holder to the operator in accordance with a procedure agreed with the Agency.

21A.445 Unrepaired damage

(a) When a damaged product, part or appliance, is left unrepaired, and is not covered by previously approved data, the evaluation of the damage for its airworthiness consequences may only be made;

1. by the Agency, or
2. by an appropriately **approved design organisation** under a procedure agreed with the Agency. Any necessary limitations shall be processed in accordance with the procedures of 21A.443.

(b) **Where the organisation evaluating the damage under paragraph (a) is neither the Agency nor the type-certificate** or supplemental type-certificate holder, this organisation shall justify that the information on which the evaluation is based is adequate either from its organisation's own resources or through an arrangement with the type-certificate or supplemental type-certificate holder, or manufacturer, as applicable.

21A.447 Record keeping

For each repair, all relevant design information, drawings, test reports, instructions and limitations possibly issued in accordance with 21A.443, justification for classification and evidence of the design approval, shall:

- (a) be held by the repair design approval holder at the disposal of the Agency, and
- (b) be retained by the repair design approval holder in order to provide the information necessary to ensure the continued airworthiness of the repaired products, parts or appliances.



SUBPART M — REPAIRS

21A.449 Instructions for continued airworthiness

- (a) The holder **of the repair design approval** shall furnish at least one complete set of those changes to the instructions for continued airworthiness which result from the design of the repair, comprising descriptive data and accomplishment instructions prepared in accordance with the applicable requirements, to each operator of aircraft incorporating the repair. The repaired product, part or appliance may be released into service before the changes to those instructions have been completed, but this shall be for a limited service period, and in agreement with the Agency. Those changes to the instructions shall be made available on request to any other person required to comply with any of the terms of those changes to the instructions. The availability of some manual or portion of the changes to the instructions for continued airworthiness, dealing with overhaul or other forms of heavy maintenance, may be delayed until after the product has entered into service, but shall be available before any of the products reaches the relevant age or flight — hours/cycles.
- (b) If updates to those changes to the instructions for continued airworthiness are issued by the holder of the repair design approval after the repair has been first approved, these updates shall be furnished to each operator and shall be made available on request to any other person required to comply with any of the terms of those changes to the instructions. **A programme showing how updates to the changes to the instructions for** continued airworthiness are distributed shall be submitted to the Agency.



SISTEMAS DE QUALIDADE vs “built to print”

Tópicos:

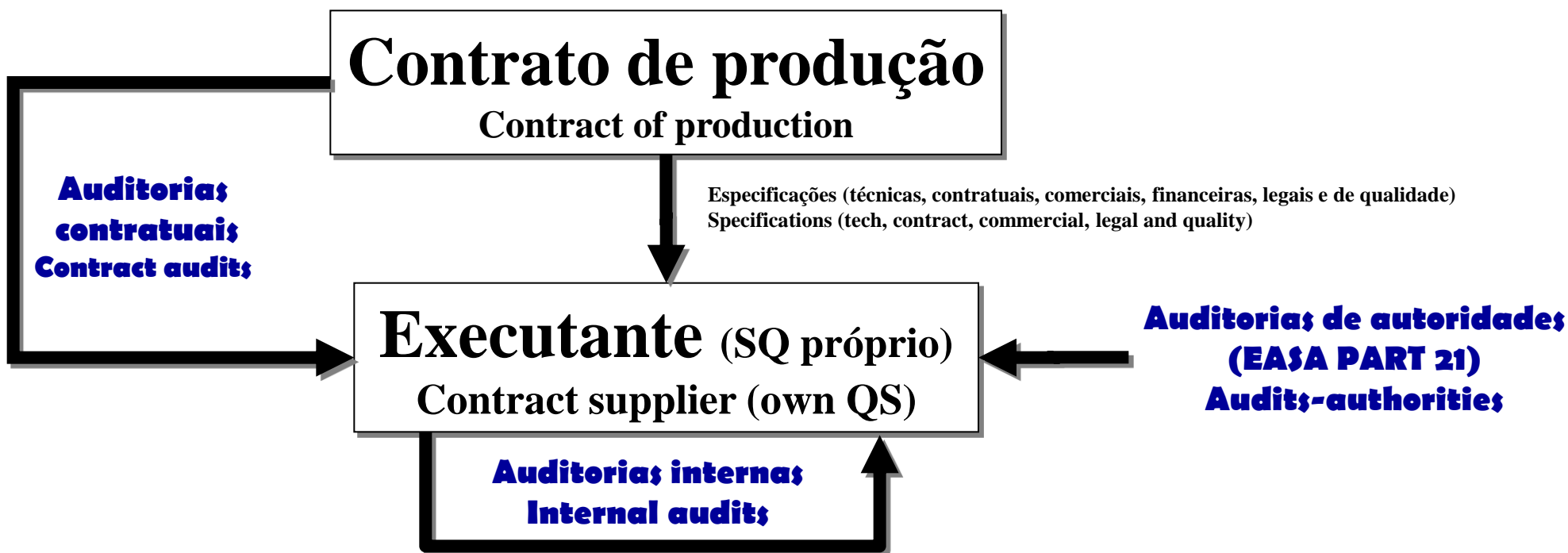
- Modelo geral
- Responsabilidades da gestão de topo
- Revisão ao contrato
- Controlo de (sub)projectos
- Documentação e controlo de dados
- Aquisições-fornecimentos
- Controlo de fornecedores
- Identificação de produtos e rastreabilidade
- Controlo de processos
- Inspeção e testes
- Controlo de EMP
- Controlo de produtos não conformes

Topics:

- General
- top management responsibilities
- Contract revision
- Control of projects
- Documentation & Data control
- Aquisitions- supplies
- Suppliers Control
- Products ID and traceability
- Control of processes
- Inspection & testing
- Control of measuring and precision equipment
- Control of non-conformaties
- Corrective & preventive actions



MODELO GERAL SISTEMA DE QUALIDADE/Quality general model:



RESPONSABILIDADES DA GESTÃO DE TOPO (no SQ):

- Política de qualidade
- Responsabilidade e autoridade (definição)
- Recursos (atribuição)
- Definição de Account manager para o SQ
- Revisão do SQ

Top management responsibilities vs QS

- QS policies
- Definition of responsibilities & authorithies
- Assignment of resources
- Account manager for QS
- QS revisions



REVISÃO AO CONTRATO-Contract Revision

Assim como a regulamentação exige revisão do SQ também, no caso da fabricação BTP se exige programa de revisão do contrato (de aquisição de serviços de fabricação BTP) antes deste ser submetido como proposta.

As SQ is revised also the contract needs to be revised prior its submittance to the contractor.

O objectivo desta actividade é rever, através de metodologia que sistematize e documente, os termos e condições exigidas a um fornecedor relativos a especificações técnicas, contratuais, qualidade, etc, por modo a que a proposta incida sobre todos os elementos requeridos e nada fique de fora.

The objective of such revision is to systematically and document according to the terms and conditions revise and ensure that the supply will meet all specifications.

Terminologia standard associada à formulação de contratos (comercial):

Terminology

- Request for information (RFI)
- Request for quotation (RFQ)
- Inviation to tender
- Invitation to offer
- Best and final offer (BAFO)
- Work Scope
- Statement of work (SOW)
- Work breakdown structure (WBS)
- First Article Inspection (FAI);
- CAD/CAE/CAM/CIM



REVISÃO AO CONTRATO/Contract Revision

Os aspectos que fazem parte da **revisão do contrato** incidem sobre:

Aspects to be taken in consideration:

- *Workscope* (âmbito da produção);
- Especificações e Standards a usar no processo de fabrico;
 - Specs and standards to be used for the manufacturing processes.
- Requisitos em termos de materiais, produtos e serviços;
 - Materials, products and services requirements.
- Requisitos em termos de inspeção e aceitação (FAI) de produtos manufacturados;
 - FAI criteria
- Requisitos em termos de processos de fabrico.
 - Manufacturing processes requirements

CONTROLO DE (SUB)PROJECTOS/DESIGN CONTROL

Esta componente do SQ em BTP diz respeito ao projecto de estaleiro e ferramentas – já que o projecto (digamos) principal a que se associa um TC, STC ou ETSO é da responsabilidade da entidade contratante. Todavia, para efeitos de controlo de dados e de processos há também exigências em matéria deste tipo de actividade.

This aspects mainly relates to the project of jigs and tools whilts control of main project is under the Contractor responsibility and is related to TC, STC and ETSO.

Terminologia:

Entidade contratante	- » entidade contratada
Entidade subcontratante	-» entidade subcontratada
(Main)Contractor (OEM)	-» Supplier
	-» Vendor
Main contractor	-» contractor/supplier



CONTROLO DE (SUB)PROJECTOS/DESIGN CONTROL

As actividades de projecto abrangem:

The project activities cover:

- ferramentas para produção de peças simples (enformação de chapa- e.g., estiragem, estampagem), enformação de perfis (e.g., cold rolling), materiais compósitos;
Tooling for the production of single parts (sheet metal forming, profiles and composites materials)
- estaleiros de montagem de sub-conjuntos e de conjuntos;
Jigs for sub sets and mains sets assy.
- equipamentos de transporte (actividade interna e externa).
Equipment for transportation from supplier to contractor

O controlo da actividade de projecto cobre (nos termos da regulamentação ISO 9001:2000) os seguintes aspectos:

Within the ISO 9001:2000 regulation the design control covers:

- | | |
|---|--|
| - Planeamento da definição e desenvolvimento do projecto; | Project definition and planning; |
| - Aspectos organizativos e interfaces técnicas; | Organization and technical interfaces; |
| - Inputs para projecto (especificações) | Project input/specs; |
| - Output de projecto (deliverables); | Project deliverables; |
| - Revisões de projecto | Project revisions; |
| - Verificação do projecto; | Project verification; |
| - Validação do projecto; | Project validation; |
| - Alterações ao projecto. | Project changes. |



DOCUMENTAÇÃO E CONTROLO DE DADOS/Documentation & Data control

Princípio base – basic principle:

Os documentos devem ser revistos e aprovados por pessoal autorizado. Um ficheiro mestre (*master file*) deverá existir para permitir o controlo em qualquer instante do estado de revisão de um documento evitando assim o uso de elementos inválidos ou obsoletos.

Documents must be revised and approved by authorised staff. A master file shall exist to allow at any the control of revisions and valid documentation.

Desta forma devem ser identificados e geridos os documentos que pela sua natureza estejam directa ou indirectamente relacionados com a actividade produtiva, salientando-se:

The documents that must identified and controled are:

- | | |
|---|---|
| - políticas; | policies |
| - normas / procedimentos; | procedures and norms |
| - desenhos; | drawings (also knows and blue prints or BP) |
| - relatórios específicos; | specific reports |
| - instruções para a produção; | production instructions |
| - processos de aquisição; | aquisition processes |
| - contratos; | contracts |
| - planos (produtivos, engenharia, logística). | Plans (productive, engineering, logistics) |

O controlo documental envolve a referenciação adequada de documentos bem como ainda o controlo de distribuição e alterações

Control of documents includes ref and control of distribution and changes.



CONTROLO DAS AQUISIÇÕES /Fornecimentos/Aquisitions/supplies QC

3 aspectos prevalecem na perspectiva do SQ – 3 aspects prevail at the of QS:

- avaliação de fornecedores/suppliers assessment;
- controlo de dados de aquisições/fornecimentos/control of acquisition/supply data;
- verificação dos produtos/serviços adquiridos/product & services verification;

AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES – Suppliers assessment:

- fornecedores autorizados/authorised suppliers by the Contractor;
- qualificação de fornecedores/suppliers qualification process;
- lista de fornecedores autorizados/approved suppliers list;
- critérios de avaliação de fornecedores/suppliers assessment criteria;
- auditorias/audits;

-CONTROLO DE DADOS DE AQUISIÇÕES/FORNECIMENTOS/control of acquisition/supply data;

A legislação não estabelece (naturalmente) o que é uma encomenda de material deve conter. Contudo exige pelo seu lado que os produtos fornecidos cumpram a respectiva especificação (e ainda que todo o processo esteja documentado). Desta forma o processo aquisitivo para garantir os 2 aspectos anteriores deverá assegurar informação relativa aos seguintes aspectos:

The regulations to not establish the specific content of a material order. However it requires that supplied product meet (their) specifications as well as all process needs to be documented. As such to comply with those 2 objectives an acquisition must ensure at least:

- identificação dos artigos (produtos/serviços)/ID of products and services;
 - nomenclatura, PN, SN, Lote
- qtd/qty;
- especificação de matérias/spec;
- procedimentos e cuidados de transporte e manuseamento/transport and handling procedures;
- critérios de verificação/aceitação/Verification and acceptance criteria.



CONTROLO DAS AQUISIÇÕES /Fornecimentos/Aquisitions/supplies QC

Artigos e serviços fornecidos pela entidade contratante são normalmente designados de:

Articles and serviced supplied by the contractor are normally known as:

BFM - Buyer Furnished Equipment

CFE - Customer Furnished Equipmment

GFE - Government Furnished Equipment

BFM - Buyer Furnished Material

CFM - Customer Furnished Material

GFM - Government Furnished Material

Estes artigos independentemente da origem são controlados, normalmente em termos documentais, todavia não impede em termos legais que a entidade que os incorporará no produto final não faça as verificações e testes que forem adequados à respectiva especificação, uma vez que a responsabilidade final recai na entidade que produz o artigo.

These articles regardless their origin are controlled through documentation, however from a legal perspective nothing prevents the manufacturer to carry on the verifications and test according to the applicable spec, as the final responsibility lies on the suppliers side.



CONTROLO DAS AQUISIÇÕES /Fornecimentos/Aquisitions/supplies QC

O controlo de artigos fornecidos para incorporar na produção inclui, entre outras verificações e testes o seguinte:

The control of incoming articles to be incorporated in the production process includes among other the following verification and tests:

- documental para comprovar a especificação do produto fornecido bem como validade (se aplicável);**
 - Document control to check product spec and validity.**
- IND – (Inspeções Não Destrutivas) que podem abranger testes de características químicas, mecânicas (e.g., dureza), etc**
 - Non Destructive Inspections (NDI) covering chemical and mechanical properties (e.g., hardness).**
- Inspeções destrutivas – testes metalográficos, de características mecânicas do material.**
 - Destructive testing – metalographic, mechanical characteristics.**
- Funcionais para o caso de equipamentos**
 - Functional testing for equipments.**

IDENTIFICAÇÃO & RASTREABILIDADE / Parts ID & traceability

Todos os artigos fabricados devem ser identificados. No caso de produção sob contratação, as peças serão identificadas de acordo as regras pré-definidas pelo main contractor. A definição do algoritmo como as peças serão identificadas é da responsabilidade do main contractor – usando ATA 100 SPEC, ou outra metodologia AECMA 1000D, MIL-STF-1808, etc. Em termos tecnológicos, as peças serão identificadas preferencialmente por gravação (mecânica, química) ou por tinta.

All manufactured items must be duly identified. In the case of the production BTP, the parts are to be identified accordingly to the rules defined by the main contractor, normally using ATA 100 SPEC, AECMA 1000D, MIL-STD-1808 or other similar way. In technological terms, parts shall be preferably identified using etching processes (mechanical, chemical) or painted.



Rastreabilidade: todas as peças (conjuntos e subconjuntos) serão rastreáveis em termos processo, de produtos e de matérias empregues no respectivo fabrico. Isto significa que toda a actividade associada deverá estar complementada documentada, sendo possível em qualquer momento do processo de fabrico e mesmo posteriormente, identificar quem fez, como fez, quando fez e quem aprovou .

Traceability: all parts (main assys and sub-assys) are traceable in terms of processes, products and raw materials used in the production activity. This means that activity needs to be fully documented, being possible at any time to identify who, how and when made it as well as who approved it.

CONTROLO DE PROCESSOS / Control of processes

O controlo de processos pode ser entendido de 2 formas, uma relacionada com a sua formulação e rastreabilidade. Outra que exige, para além destes 2 aspectos, prévia homologação e contínuo controlo. Esses processos são considerados “Processos Especiais”, sendo exemplos:

The control of processes can be seen in 2 ways, one related to its formulation and rastreability; the other requires, in addition to these aspects, previous certification and continuous control. These processes are considered “special processes”, being examples:

- Soldadura/welding;
- Pintura/painting;
- Tratamentos térmico/heat treatment;
- Tratamentos electrolíticos (galvanoplastia e deposição química)/Galvanic and electroless processes.

(Mais processos especiais existem, designadamente no domínio dos END).

(Other special processes exist, namely NDI).



INSPECÇÃO E TESTES / Inspection and testing

A aceitação de produtos manufacturados envolve 4 etapas, a saber:

The acceptance of manufactured items encompasses 4 stages, that is:

- **Inspeção e testes de recepção de materiais, produtos e serviços/peças (subcontratados);**
Incoming inspection;
- **Inspeção durante a realização produtiva;**
In-process inspection;
- **Inspeção final e testes;**
Final inspection and testing;
- **Registos de inspecção e de testes.**
Inspection and tests records

-INSPECÇÃO E TESTES DE RECEPÇÃO DE MATERIAIS, PRODUTOS E SERVIÇOS/PEÇAS (SUBCONTRATADOS) **Incoming inspection**

A avaliação à recepção dos artigos tem 2 vertentes, documental e de testes.

A documental envolve a confirmação em como os artigos entregues cumprem com a especificação associada ao processo de encomenda/aquisição.

A componente de testes envolve a realização de verificações de condição (por amostragem ou a 100%) dos artigos fornecidos:

- **validade;**
- **em termos visuais, químicos, mecânicos.**

The incoming inspection includes two aspects: document and testing.

The document evaluation includes confirmation that all items supplied meet the specification defined in the order.

The testing encompasses visual, mechanical and/or chemical verification of the products.



IN-PROCESS INSPECTION

Durante a fase de produção inspecções deverão ser realizadas em momentos que permitam comparar a conformidade da peças/conjunto com as especificações. As inspecções podem ser delegadas, sendo realizadas por pessoal devidamente qualificado. O mesmo se aplica aos processos de fabrico que, para o caso dos especiais, também devem ser certificados, para garantir que permitem produzir peças que cumpram com as especificações.

During the production phase at defined points parts/sets inspections must be carried out to verify that personel and processes meet the applicable specifications.

De forma geral, um plano efectivo de inspecção durante a fase produtiva é aquele que:

- I- assegura a selecção de adequados métodos de inspecção
 - » não destrutivos [visual, medição (características geométricas), ultra-sons, RX, correntes induzidas, partículas magnéticas, etc]
 - » destrutivos (metalográficos, ensaios mecânicos, adesão, etc).**
- II- garante no caso de adoptarem métodos de controlo estatísticos, em caso de falha de peças pertencentes o lote abrangido, não ocorrerão falhas catastróficas (para a aeronave ou motor);**
- III- que inclui inspecções realizadas e planeadas em pontos do processo produtivo, sendo eficazes por modo a garantir que os elementos produzidos cumprem com as respectivas especificações;**
- IV- verifica e confirma a existência de áreas de produção devidamente organizadas e segregadas, evitando que possa ocorrer interferência negativas inter-processos (pintura vs maquinaria vs tratamentos electrolíticos).**

In general terms, an effective inspection plan during the production stage is the one that:

- I - ensures selection of adequate methods (non-destructive:visual, measurements, ultra-sound, RX, eddy currents, magnetic particles, etc; destructive:metallographic, mechanical testing, adhesion, etc);**
- II –ensures that in case statistical control processes are used non-conformities of parts belonging to the applicable lot do not correspond to a catastrophic failure (a/c or engine);**
- III-includes efficient control at predefined points of the production allow parts to meet specification;**
- IV-ensures appropriate organization of the production with processes duly segregated to avoid negative interference (painting vs machining)**



-INSPECÇÃO FINAL E TESTES

Final inspection and tests

Os testes finais distinguem-se dos realizados durante a fase produtiva, uma vez que são feitos baseados num plano de Qualidade e de Testes específicos que abrangem o conjunto completo.

No caso de testes a aeronaves completas inclui naturalmente testes funcionais e voos de ensaio. No caso de se tratar de fabricar o que se designa por “*green aircraft*”, isto é, somente a montagem da estrutura faltando interiores, realizam-se testes apropriados, e.g., pressurização da fuselagem, estanqueidade de depósitos, etc.

O resultado final é completado com a emissão de um certificado tipo EASA FORM 1.

The final tests are different from those carried out during the production phase, because they are based on a Quality Plan as well as they are based on a specific test plan which covers the complete system.

In the case of complete a/c final tests include functional and flight tests. In case a green a/c is built up, i.e., fuselage assembly without interiors and engines, etc, appropriate tests are carried out namely fuselage pressurisation, fuel tank tests, etc.

Final results are completed with the issuance of a certificate similar to EASA PART 1.

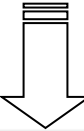
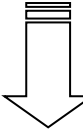
- REGISTOS DE INSPECÇÃO E DE TESTES.

Inspection and tests records

Componente essencial do processo é o registo da respectiva actividade – obrigatoriedade regulamentar para garantir a rastreabilidade de todos os actos associados. Para isso impressos devem ser definidos.

An essential component of the process is the registration of tests – this is a mandatory activity resulting from regulations to ensure traceability of all acts related – which is carried out using appropriate forms.



1. Approving Competent Authority/Country		AUTHORISED RELEASE CERTIFICATE EASA FORM 1				3. Form Tracking Number	
4. Approved Organisation Name and Address:						5. Work Order/Contract/Invoice	
6. Item	7. Description	8. Part No	9. Eligibility (*)	10. Quantity	11. Serial/Batch No	12. Status/Work	
13. Remarks Part M Section A Subpart F organisation approval number: AAA RRR XXXX <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"><div style="text-align: center;"></div><div style="text-align: center;"></div></div>							
14. Certifies that the items identified above were manufactured in conformity to: <input type="checkbox"/> approved design data and are in condition for safe operation <input type="checkbox"/> non-approved design data specified in block 13				19. <input type="checkbox"/> Part-145.A.50 Release to Service <input type="checkbox"/> Other regulation specified in block 13 Certifies that unless otherwise specified in block 13, the work identified in block 12 and described in block 13, was accomplished in accordance with Part-145 and in respect to that work the items are considered ready for release to service.			
15. Authorised Signature		16. Approval/ Authorisation Number		20. Authorised Signature		21. Certificate/Approval Ref. No	
17. Name		18. Date (d/m/y)		22. Name		23. Date (d/m/y)	



Control of inspection, measuring and test equipment

As entidades fabricantes deve estabelecer e manter de forma documentada procedimentos para controlo, calibrar todos os equipamentos incluindo software utilizados para inspeccionar, medir, testar as actividades produtivas que se trate de peças simples quer formação de sub-conjuntos e conjuntos.

The manufacturing entities shall ensure in a duly documented way all aspects related to the calibration and its control of all hardware and software to carry on inspection, measuring and testing of single parts as well as sub and major assy .

Itens sob controlo/itens to control:

- Equipamentos de medida e teste: para garantir que estão permanentemente calibrados ou que no caso do software mantém as especificações para que foi concebido;**
Measuring and testing equipment: to ensure that they are permanently calibrated and in the case of the software that it keeps its specifications;
- Ferramentas de fabrico: para verificar integridade estrutural e dimensional assegurando que as peças manufacturadas cumprem com as respectivas especificações;**
Manufacturing tools: to ensure its structural and dimensional integrity in order to make sure parts manufactured comply with the specifications;
- Estaleiros de montagem: para verificar integridade estrutural e dimensional que os componentes formados cumprem com as respectivas especificações.**
Jigs: to ensure its structural and dimensional integrity in order to make sure sub and major assys comply with the specifications



Control of inspection, measuring and test equipment

EQUIPAMENTOS DE MEDIDA E PRECISÃO Inspection, measuring and testing equipment	FERRAMENTAS DE PRODUÇÃO Manufacturing tooling	ESTALEIROS Jigs
Micrómetros - micrometer Multímetros – multimeters Pressão – pressure gauges Temperatura - thermometer Comparadores - gauges Calibres “Go-No Go” Chaves de aperto; torque wrenches Software Teodolitos ...	Compósitos - composites Quinadeiras - punching Estampagem– pressing; Estiragem – stretching; Tratamentos térmicos – Heat treatment <i>Cold rolling</i> <i>Hydroforming</i> ...	Estaleiros de montagem – assy jigs Estaleiros de fabrico – montagem Manufacturing jigs



-CONTROLO DE PRODUTOS NÃO CONFORMES

-Control of non-conformities

São peças (produtos/serviços) não-conformes as que não estejam de acordo com as especificações.

Devem ser segregadas e colocadas devidamente identificadas em local próprio.

Any part (products/services) that does not meet specifications is a non-conformity. Need to be segregated and placed in a dedicated location.

Material Review Board:

Grupo que tem por objectivo avaliar as não-conformidades, propor, aprovar e seguir as resoluções aprovadas.

Group aiming to assess the non-conformities, propose, approve and follow up the solutions defined.

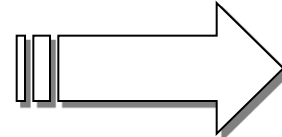


PROCESSO DE FABRICAÇÃO MANUFACTURING PROCESS

Pré-industrialização *Pre-industrialisation*



Industrialização *Industrialisation*



Produção série *Series production*

1. Orçamentação (valoração industrial)

Budgeting

- Tempos, materiais, serviços e prazos

Time-Material, Services and Turn around time (TAT)

- Paramétrica/parametrics
- Analítica/analytical
- Mista/mix

2. Planeamento da produção/Production Planning

3. Avaliação económica/Economical feasibility

4. Preparação da oferta/Preparation of offer

5. Contrato/negociações/contract/negotiations

1. Componente Técnica estruturante

Structuring technical component

- Estrutura do Produto Engenharia

① Product Breakdown Structure

- Estrutura do produto fabricação

② Manufacturing breakdown Structure

- Processos Especiais

③ Special Processes

- Tempos e métodos

④ Methods

2. Componente logística/Logistic Component

- Programa de aquisições

Acquisition programme

- Aquisições/Acquisitions

3. Componente produtiva

Production Operations Component

⑤ Ferramentas/Tooling

Estaleiros/Jigs ⑥

⑦ Pré-série/protótipo|Pre-series/Prototype

4. Componente Qualidade (FAI)

Quality Component

⑧

1. Suporte Técnico Continuado

Continued technical Support

2. Componente logística/

Logistic Component

3. Componente produtiva/Oper.

Production Operations Component

4. Componente Qualidade (FAI)

Quality Component

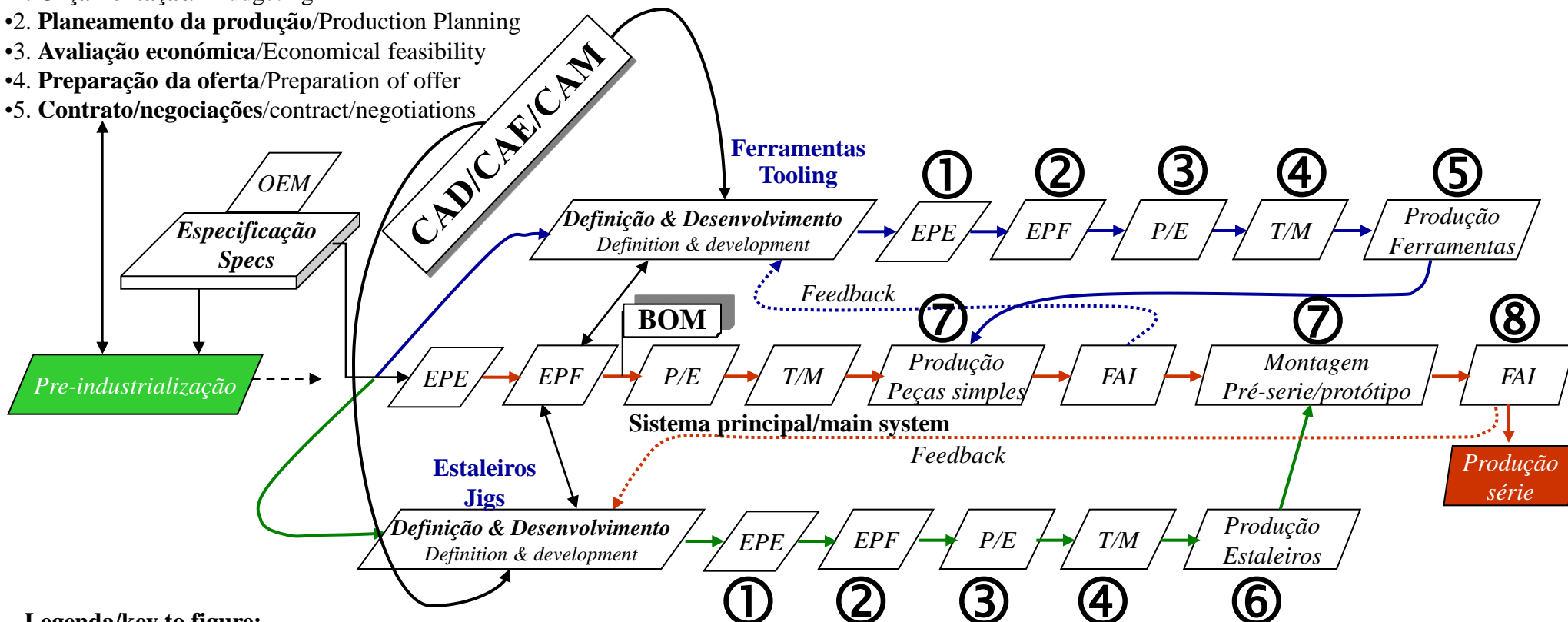
Programas especiais:

Special programmes

- redução de custos/cost reduction
- redução de tempos/time reduction;



1. Orçamentação/ Budgeting
2. Planeamento da produção/Production Planning
3. Avaliação económica/Economical feasibility
4. Preparação da oferta/Preparation of offer
5. Contrato/negociações/contract/negotiations



Legenda/key to figure:

- | | |
|--|--|
| EPE – Estrutura do Produto Engenharia – Product breakdown Structure | Inclui a cascata do sistema (ATA 100) para permitir criar a BOM (especificações, materiais, etc) Includes BOM; |
| EPF – Estrutura do Produto Fabrico – Manufacturing Breakdown Structure | Inclui o layout da montagem, ferramentas/Includes layout of production and manufacturing processes selection |
| P/E – Processos Especiais – Special Processes | Inclui Tratamentos Térmicos, Tratamentos electrolíticos, Pintura, END Includes Special Processes certification (HT, Plating, coating, NDI) |
| T/M – Tempos e Métodos – Methods | Inclui a definição de opções de fabrico e de montagem, estimativa e controlo de tempos de produção Includes methods (job cards, resources) |

OE M - Original Equipment Manufacturer



ACTIVIDADES

Activities

ENGENHARIA/Engineering

**Conceber e desenvolver ferramentas de produção;
Define and develop production tooling;**

Estruturar, do ponto de vista técnico, a actividade produtiva assegurando o cumprimento das especificações de projecto.

To structure from a technical perspective all production activity in accordance the specifications

Suportar as actividade produtivas na fase de produção série (modificações e melhorias de processo)

To support the production series (modifications and process improvement);

Gerir a configuração do produto – Product Configuration Management;

Gerir a configuração do fabrico – Manufacturing control managment.

QUALIDADE/Quality

Assegurar que a manufactura cumpre requisitos de qualidade, definidos em regulamentação adequada, normas de qualidade tipo JAR 21/EASA PART 21, FAR 21, e em documentos contratuais específicos.

To ensure that manufacturing complies with project and with JAR21/EASA PART 21, FAR 21 regulations and contractual arrangements.

PLANEAMENTO E CONTROLO/Planning and Control

Assegurar que a manufactura dos componentes e dos sistemas aeronáuticos cumpre a programação previamente definida para o efeito (calendário);

To ensure that manufacturing process complies with the schedule.



ACTIVIDADES **Activities**

GESTÃO/Management

Administrar adequadamente o Programa de Industrialização e fabrico série garantindo o cumprimento de Prazos, Preço e Qualidade.

To manage the industrialisation and production series process ensuring prices, quality and schedule.

PRODUÇÃO(OPERAÇÕES)/Production (Operations)

Manufacturar os componentes e os sistemas aeronáuticos objecto do programa de industrialização da produção série, garantindo o cumprimento de Prazos, Preço e Qualidade.

To Manufacture the components and and aeronautical systems related to the industrialization and series production.

LOGÍSTICA /logistics

Garantir o funcionamento em tempo de matéria-prima e demais itens necessários à manufactura, incluindo gestão de stocks, armazéns e fornecimento de matéria prima, produtos e serviços.

To ensure the supply (procure and acquire) including stock and warehouse management as well as supply raw material, products and services.

ACTIVIDADES ESPECÍFICAS DO PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO/ **Specific activities of industrialisation**

No âmbito da Engenharia/Engineering

Sub-grupo Projecto de Ferramentas/Tooling project sub group

Conceber, desenvolver e aprovar as ferramentas necessárias à produção de peças simples, montagem de sub-conjuntos e conjunto final.

Design, develop and approve all tooling and jigs require to production



ENGENHARIA DE PROCESSO/Process Engineering

- **Definição da Estrutura do Produto Engenharia – To structure the PBS**
- **Cascata/tree;**
- **Componentes (referenciação/nomenclatura)/Components ref/nomenclature;**
- **Especificação de materiais, acabamentos, testes de aceitação, normas/materials specifications, finishings, acceptance testing;**
- **Desenhos aplicáveis/drawings;**
- **Quantidades/Qty's**
- **Especificações de qualidade/quality requirements;**
- **Especificações de fornecedores/Supplier requirements.**

DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DO PRODUTO FABRICO/Production layout definition:

- **Layout produtivo – manufacturing sequence;**
- **Opções de subcontratação – subcontracting options;**
- **Transporte/transportation**

DEFINIÇÃO DOS PROCESSOS ESPECIAIS/ Special processes;

- **Estruturar os processos especiais/ To define and structure;**
- **Testar os processos especiais/Test special processes;**
- **Submeter a aprovação da qualidade/To submit to quality for approval.**

DEFINIÇÃO DE TEMPOS E MÉTODOS – Methods:

- **Preparar documentos produtivos/To establish all production documents**
- **Sequência produtiva/manufacturing sequence (job cards/routing);**
- **Controlo de qualidade/Quality control;**
- **Materiais a usar/materials to be used;**
- **Tempos produtivos (set up, produção)/Production times (set up/operating);**
- **Curva de aprendizagem /learning curve;**
- **Programação CNC e simulação / CNC programming and simulation;**
- **Controlo de tempos e de processos reais (process and time control)**



QUALIDADE /Quality

- **Certificação e homologação de Processos Especiais/Certification of Special Processes;**
- **Inspecção do Primeiro Artigo, vulgo FAI/FAI;**
- **Estabelecimento e implementação da metodologia da garantia de qualidade do processo de fabrico/Quality methods and processes;**
- **Controlo de qualidade; Quality control during process**
- **Assegurar o cumprimento dos requisitos da natureza técnica, contratual e outros/To ensure compliance with all requirements.**

PLANEAMENTO E CONTROLO DAS OPERAÇÕES /P&L of Operations

Calendarizar e controlar as actividades/schedule all activities:

- **Produção de ferramentas, estaleiros, fabricação de peças simples e montagem de pré-série/protótipo;
Manufacturing of tooling, jigs, single parts and pre-series/prototype;**
- **Programa de Qualidade associado aos processos especiais e FAI/Quality programme of special processes and FAI;**
- **Logística em termos de lançamento de programa de aquisições/procurement and acquisition programme.**

GESTÃO/Management

Estabelecer/Establish :

- **WBS/work breakdown structure;**
- **Responsibilities;**
- **Master schedule milestones, reviews and audits;**
- **Make or buy policies;**
- **Objectivos específicos /target values**
- **Specific programmes (cost, time reduction)**



PRODUÇÃO/Production

•Proceder ao fabrico/Manufacture of:

- das peças simples/single parts;
- montagem dos subconjuntos/assy of subassy;
- conjunto final quer se trate do protótipo ou pré-série/assy of final assys;

•Proceder ao fabrico de/manufacture of:

- de ferramentas de produção para peças simples/tooling to manufacture single parts;
- de estaleiros de montagem/jigs to allow assy.

LOGÍSTICA/Logistics

- Assegurar o fornecimento de matérias-primas, produtos, consumíveis, etc, necessários às operações (débitos);
Supply of raw material, products, consumables and services;
- Assegurar o fornecimento de ferramentas standard necessária à produção;
Supply of standard tooling;
- Gerir armazéns e stocks (artigos planeados, stocks de rotura, stocks de segurança, pontos de encomenda, mini-max)

Warehouse and stock management (planned items, stock rupture, safety stock, order point, mini-max);

- Política de abastecimento/Supply policies
- Assegurar o fornecimento de componentes e/ou subconjuntos oriundos de subcontratação;
Ensure supply of items from subcontracting.
- Assegurar a expedição dos bens produzidos.
Ensure expedition of manufactured items



GESTÃO DE CONFIGURAÇÃO PRODUTO E FABRICO

Product and manufacturing configuration management

GESTÃO DE CONFIGURAÇÃO PRODUTO (GCP)/Product Configuration Management (PCM)

A GCP é assegurada no essencial através dos seguintes registos (pelo menos):

PCM is ensured through the accomplishment of the following processes (at least):

- identificação onde será aplicado o item a produzir, i.e., é o chamado conjunto superior, e.g., aeronave, subsistema;
identification of the application of the item in the system tree;
- a identificação do componente a produzir;
Identification of the item to be produced;

GESTÃO DE CONFIGURAÇÃO FABRICO (GCF)/Manufacturing Configuration Management (MCM)

A GCF é implementada garantindo que o documento de fabrico incorpora pelo menos o seguinte:

MCM is implemented ensuring that registration is made in the working documents with at least the following:

- a quantidade a produzir;
Qty to be produced;
- a lista de matéria-prima e demais produtos associados (consumíveis, etc);
Raw material and products list;
- a descrição das ferramentas e equipamentos imprescindíveis à produção;
Identification of tooling and equipment to be used;
- a sequência do processo de fabrico incluindo instruções detalhadas (desenhos, normas, etc);
Sequence of the manufacturing process with detailed instructions (drawings, standards, etc);



ACTIVIDADES PÓS-INDUSTRIALIZAÇÃO

Post-industrialisation activities

NA ÓPTICA DO SISTEMA/Systems Perspective:

- **Ajustar a configuração de produto face a modificações**
Adjust PCM after modifications have been issued
- **Ajustar a configuração do fabrico como resultado de GCP**
Adjust MCM as the result of PCM

NA ÓPTICA DA GESTÃO/Management perspective:

Desenvolver programas/to develop programmes:

- **de melhoria de tempos/improvement of production turn around time;**
- **redução de custos/ cost reduction:**
 - **materiais preços/gestão de stocks /subcontratação/etc**
materials prices /stocks management /subcontracting/etc



SISTEMAS *ERP*

ERP SYSTEMS

GENERALIDADES PARA FABRICAÇÃO AERONÁUTICA

General Characteristics for Aeronautical Manufacturing



SISTEMAS ERP DE APOIO À FABRICAÇÃO AERONÁUTICA

ERP SYSTEMS TO SUPPORT AIRCRAFT MANUFACTURING

Um sistema ERP (Enterprise Resource Planning) é um sistema cujo propósito é o de permitir administrar, planear e executar forma integrada as actividades de uma unidade (industrial ou não), isto é, realizando não só a gestão das operações de produção mas também disponibilizando funcionalidades e interfaces com as demais aspectos da administração e da actividade corrente de uma empresa, designadamente:

- finanças;
- recursos humanos;
- comercial;
- logística,
- etc, etc

ERP is a System for the Entire Company - A Global Tightly Integrated Closed-Loop System

Font/source: www.mit.edu

- finance;
- human resources;
- comercial;
- logistics;
- etc

O resultado é uma plataforma informacional complexa (dispendiosa) que permite gerir de forma integrada o conjunto de todas as tarefas directamente relacionadas com a fabricação (ler actividade operacional – “*core business*”), retendo as interligações com as demais funcionalidades do sistema (empresa) onde aquelas se desenrolam.

No mercado comercial existem várias soluções ERP, que no essencial assentam numa base de dados relacional.

The ERP system whose objective is to allow to administrate, plan and perform in an integrated way the activities of a company (industrial or not), that is, enabling to perform not only the management of operations but also it includes functionalities and interfaces with the various management aspects of a company, namely:

The result is a complex informational platform (expensive) that allows to manage in an integrated way the set of activities related to manufacturing (read: operational activities – core business), keeping the links with the various company functionalities where it takes place.

In the commercial market various ERP solutions exist, using in general a relational database.



Ou de outra forma, dirigida para a agora actividade de fabricação, ERP é um sistema que permite realizar o planeamento de todos os recursos (humanos, materiais e financeiros) de uma unidade de fabricação, o que inclui (pelo menos):

- Planeamento do negócio (1er Plano Director);**
- Planeamento das Vendas e das Operações**
- Planeamento da Produção;**
- Gestão de necessidades de materiais (MRP);**
- Gestão de capacidades (recursos tecnológicos e humanos) produtivas**
- Integração com a actividade financeira.**

From a different perspective now applicable to manufacturing, ERP is a system that allows to carry on planning of all resources (human, material and financial) of a production unit, which encompasses at least the following elements:

Business Planning
Sales & Operations Planning
Production Planning
MPS/MRP/CRP
Execution Support for Resources and Material
All integrated with Finance



Este tipo de soluções é modular, isto é, pode ser construído a partir de um conjunto mínimo de funcionalidades relativas a determinadas actividades (normalmente o ponto de começo é a área financeira), as quais podem ir crescendo em função da estratégia e de outros aspectos específicos de uma empresa/entidade produtiva.

O mérito deste tipo de soluções informacionais, permite, entre outros aspectos:

- O recurso a solução informática global e integrada o que favorece a normalização de procedimentos na actividade;
- a utilização de algoritmos matemáticos que permitem:
 - gerir stocks;
 - estabelecer necessidades previsionais em termos de recursos materiais, humanos e de capital;
 - gerir cargas de trabalho de equipamentos (CRP);
 - Definir modos de custeio das actividades.
- controlar (em tempo-real) as actividades em curso, custos e materiais incorridos,
- passar a uma metodologia tradicional a uma de tipo “adaptativa”

A seguir, descrevem-se as características da metodologia tradicional de fabricação vs “adaptativa”.

The ERP solution is its essence modular, meaning that it can be established starting from a minimum set of functionalities related to specific areas (normally finance), which can grow according to the strategy or other specific aspects of the company/productive entity.

The merit of these type of informational systems, includes, among others:

- normalization of procedures across the various activities in a company;
- The use of mathematical algorithms in the following domains:
 - stock management;
 - previsional needs in terms of resources (material, human and capital);
 - capacity (CRP);
 - Costing;
- Control (in real-time) of all work in progress, including incurred costs, manpower, material, services, etc.
- To move from a traditional manufacturing to an “adaptative” methodology.

The next tables describe the traditional manufacturing characteristics vs the “adaptative”.



MANUFACTURA TRADICIONAL VS ADAPTATIVA – COMPARAÇÃO E EVOLUÇÃO

Traditional manufacturing vs adaptative – comparison and evolution

Characteristic	Traditional Manufacturing	Adaptive Manufacturing
Philosophy	Push & Stocked	Flexible & Responsive
Order Execution	Batch Executions	Dynamic Reallocations
Capacity Management	Batch & Centralized	Dynamic & Distributed
Exception Management	Centralized & Manual	Automated & Distributed
Planning	Periodic Scheduling	Real-Time Scheduling
Shop-Floor Visibility	Blurred & Batch	Transparent & Real Time
Material Release Schedules	Push	Pull
Analytics	Historical	Real Time
Connectivity	Disconnected/Multiple Databases	Connected MFG-ERP-SCM-PLM
Collaboration	Sequential and Slow	Networked and Real Time
Standards	Proprietary	Open
Driver	Material & Capacity Utilization	Profitability Optimization

Period	1970s	1980s	1990s	2000 & Beyond
Manufacturing Practice	Push Manufacturing	Lean Manufacturing	Flexible Manufacturing	Adaptive Manufacturing
Key Market Differentiator	Cost	Quality	Availability	Lead Time
Performance Indicators	Production Throughput	Cost Management	Segment Market Share	Customer Satisfaction



SÍNTESE COMPARATIVA ENTRE MANUFATURA TRADICIONAL VS ADAPTATIVA
COMPARISON SYNTHESIS BETWEEN TRADITIONAL AND ADAPTATIVE MANUFACTURING

Manufacturing Practice	Characteristics	Philosophy
Push Manufacturing	Mass production	Maximize capacity utilization to lower costs
	Focused assembly lines	Focus on availability and economies of scale
Manufacturing Practice	Characteristics	Philosophy
Pull (Lean) Manufacturing	Produce only what is to be sold	Significant focus on product and process quality
	Flow philosophy	Production smoothing by lot size management
	Limited product variety	Enterprise metrics – across major functions
Manufacturing Practice	Characteristics	Philosophy
Flexible Manufacturing	Significant product variety	Ensure product availability at any cost
	Redundancy availability	Accept variability – focus on economies of scope
	Focus on TOC principles	Enterprise metrics – across major functions
Manufacturing Practice	Characteristics	Philosophy
Adaptive Manufacturing	System integration for visibility	Compete on service and minimize lead times
	Enhance network collaboration	Cost and velocity of flexibility
	Manage by analytics	Collaborative metrics across business partners



CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DA MANUFATURA ADAPTATIVA
SPECIFIC CHARACTERISTICS OF THE ADAPTATIVE MANUFACTURING

Area	Feature
Plan	Determine optimal manufacturing sequence, taking into consideration operating margins, material, labor, machine resource availability, shop-floor constraints, and delivery dates.
Execute	Manage production, track resource usage, track production batches, confirm production stages / status, obtain electronic approvals, document results, and log shop-floor activities.
Sense	Monitor and provide visibility about events that impact manufacturing, including inventory, cycle time, order & WIP status, and supplier deliveries. Identify exceptions to relevant personnel.
Respond	Act rapidly to allow relevant manager to modify decision to minimize impact of exceptions, including process delays, rejects, missing goods, breakdowns, change in order size, and supplier delays.
Learn	Enable decision making by suggesting relevant actions based on predefined business rules and continually provide measurement of key manufacturing metrics



Este quadro representa uma compilação das funcionalidades ERP que os sistemas (actuais) comercializados disponibilizam

This table describes the current functionalities that (the existent) ERP system make available.

Tab 1

FUNCIONALIDADE "EMPRESARIAL" ENTREPRISE FUNCTIONALITY		FUNCIONALIDADE ERP ERP FUNCTIONALITY
Gestão Comercial	Commercial Management	Blanket Sales Orders and Releases
Economia e Finanças	Economy and Finance	Accounts Payable Accounts Receivable Administration Bank Reconciliation Budgeting / Cash Flow Business Analysis Business Analytics Currency Management General Ledger
Economia, Finanças e Administração	Economy, Finance and Management	Cost account and Tracking
Engenharia	Engineering	EDI
Engenharia, Direcção Comercial e Planeamento	Engineering, Commercial Management and Planning	Quotations & Estimating
Engenharia e Gestão	Engineering and Management	Routings
Engenharia e Gestão das operações	Engineering and Operations Management	Bill of Materials BOM Link for 3D software Data Collection
Engenharia e Qualidade	Engineering and Quality	Product Configuration Product Lifecycle Management Production Monitoring
Engenharia, Qualidade e Gestão Operações	Engineering, Quality and Operations Management	Document Management Engineering and Workflow
Engenharia, Qualidade, Gestão Operações e Logística	Engineering, Quality, Operations Management and Logistics	Factory Documentation Forms
Engenharia, Economia e Finanças	Engineering, Economy and Finance	Standard Costing
Finanças	Finance	Financial Management Fixed Assets



Tab 1 – cont.

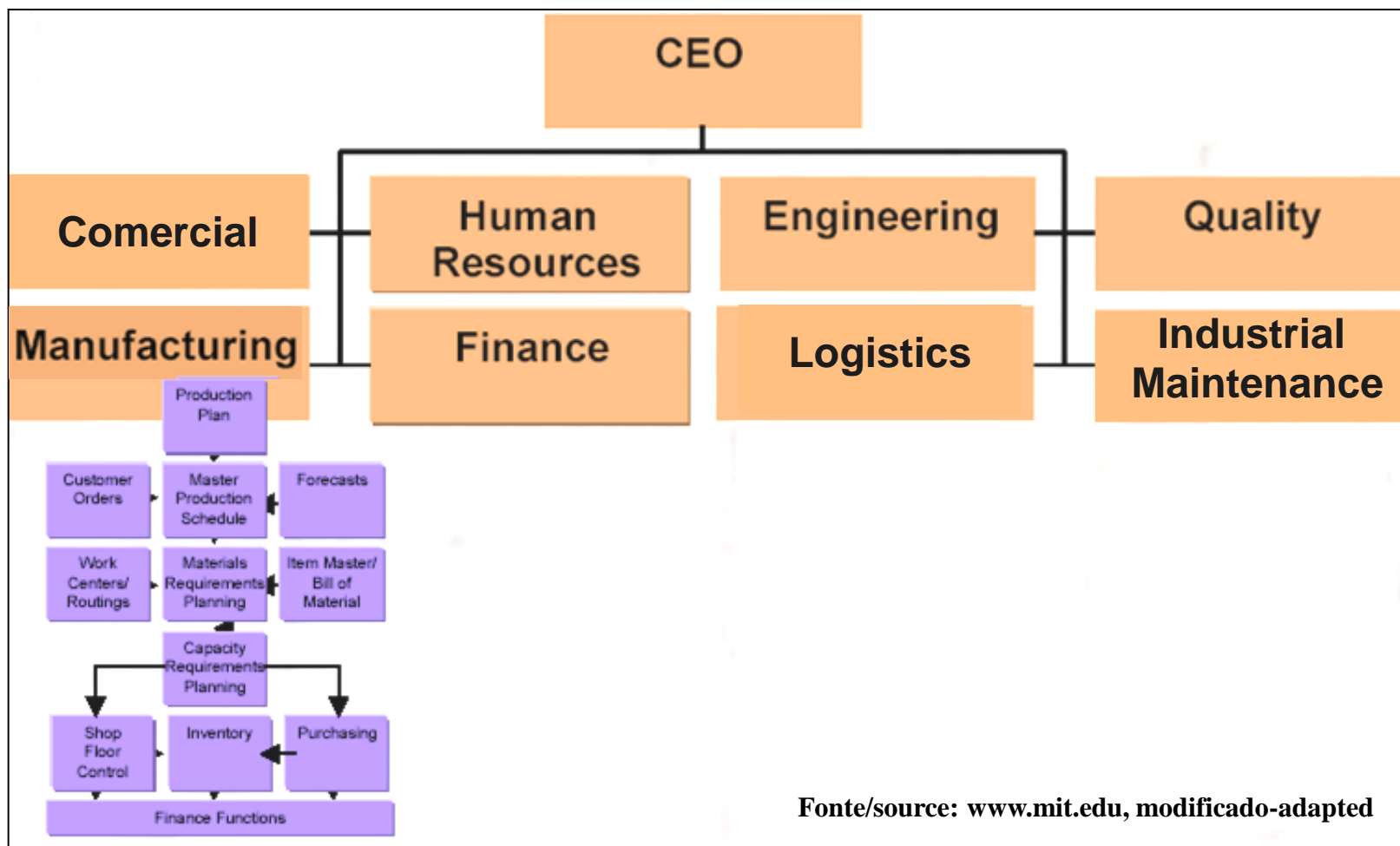
Geral	General	eMail
Gestão	Management	Analytics and Reporting Management Reporting Multi-Site Management
Gestão Comercial	Comercial Management	Supplier Relationship Management Contact Management Blanket Sales Orders and Releases CRM
Gestão Comercial - Clientes e Planeamento	Comercial Management and Planning	Customer Order Management
Gestão Comercial e Engenharia	Comercial and Engineering Management	Field Service
Gestão Comercial e Finanças	Comercial Management and Finance	Purchase Order & Receiving
Gestão Comercial e Planeamento	Comercial Management and Planning	Order Management Progress Billing
Gestão Comercial, Economia e Finanças	Comercial Management, Economy and Finance	Sales Orders & Invoicing
Gestão e Monitorização	Management and Monitoring	Metrics Reporting and Data Capture
Gestão Operações	Operations Management	Bar Coding Document Flow Manager Job Management Labor Performance Manufacturing Order Management Production Management Production Order Processing Productivity Tools
Gestão Operações e Engenharia e Qualidade	Operations Management and Engineering and Quality	Repetitive Manufacturing
Gestão Operações e Planeamento	Operations Management and Planning	Master Scheduling

**Tab 1 – cont.**

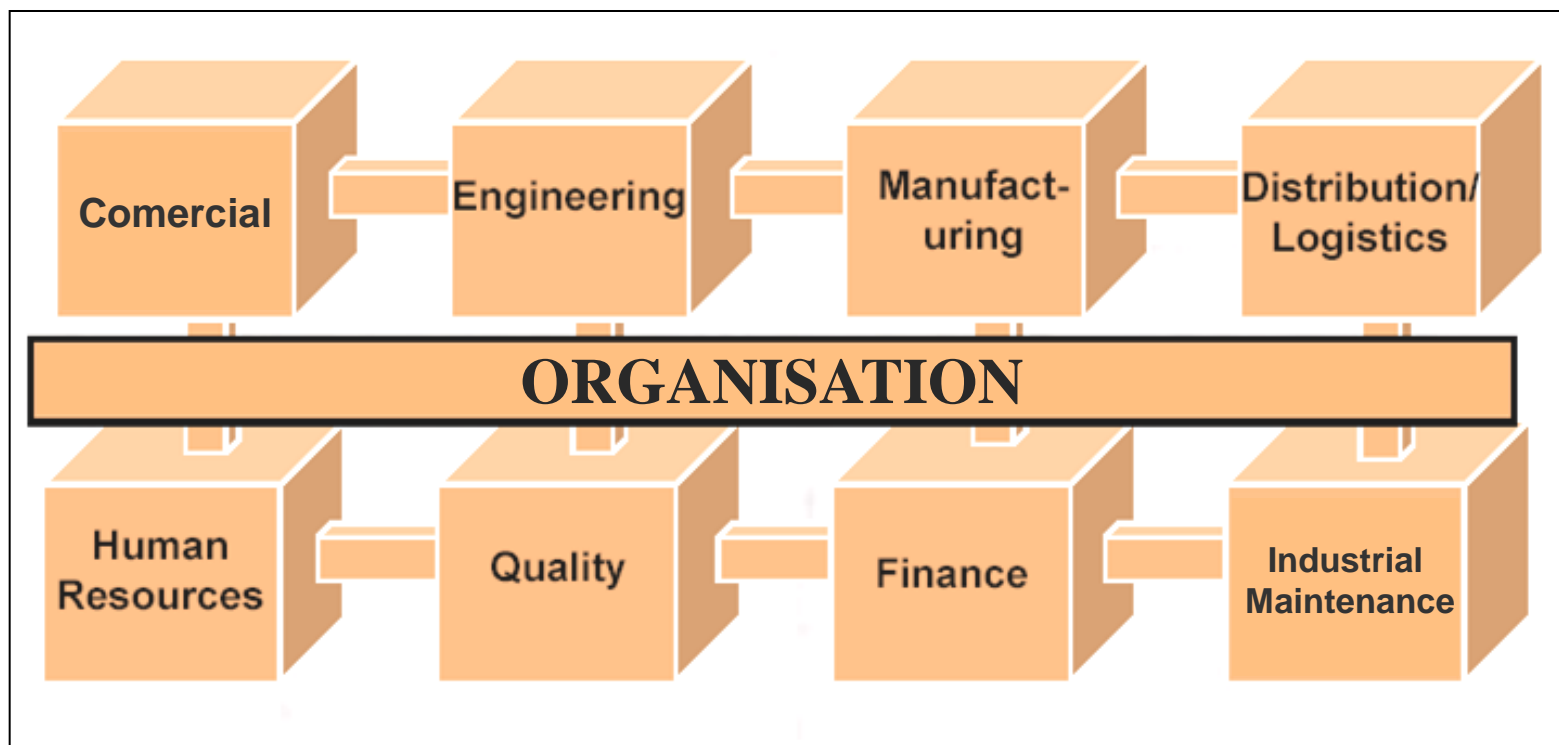
Gestão Operações, Gestão Comercial e Logística	Operations Management, Management Comercial and Logistics	Work In Progress
Gestão Operações, Gestão Comercial, Qualidade e Logística	Operations Management, Management Comercial, Quality and Logistics	Shop Floor Control Shop Floor Data Collection Shop Floor Tracking
Gestão projectos	Projects Management	Project Management
Gestão projectos e comercial	Projects and Comercial Management	Projects & Contracts
Gestão Recursos Humanos	Management Human Resources	Human Resource Management
Logística	Logistics	Distribution Multi-Dimension Inventory Purchasing RFQ Shipping Management
Logística e Finanças	Logistics and Finance	Inventory Management Physical Inventory Purchasing Management
Logística e Gestão Comercial	Logistics and Comercial Management	E-Commerce
Logística, Planeamento e Operações	Logistics, Planning and Operations	Material Requirements Planning
Logística e Qualidade	Logistics and Quality	Lot Trace and Serialization Quality/Warranty Management
Logística, Finanças	Logistics, Finance	Warehouse Management
Logística, Gestão Operações	Logistics, Operations Management	Supply Chain Management
Planeamento	Planning	Demand Forecasting Planning & Scheduling
Planeamento e Engenharia	Planning and Engineering	Order Costing Product Costing
Planeamento e Monitorização	Planning and Monitoring	Event Manager
Planeamento, Gestão Comercial, Economia e Finanças	Planning, Management Comercial, Economy and Finance	Sales Forecasting

Do ponto de vista da integração de um sistema ERP, a próxima figura descreve o respectivo posicionamento relativo do sistema informacional ERP relativa às operações de uma estrutura de fabricação generalista.

The next flowchart describes the integration of an ERP system in a general type of production organisation, covering management of operations.



A figura abaixo apresenta os módulos mais comuns que integram uma estrutura ERP para produção/fabricação.
The figure below shows the typical ERP modules that integrate an ERP structure for production.



Fonte/source: www.mit.edu (modificado, adapted)

As próximas figuras descrevem as funcionalidades típicas que um sistema ERP inclui.
The next pictures describe the typical ERP functionalities.



GESTÃO DO PRODUTO ENGINEERING PRODUCT DATA MANAGEMENT

- Document Creation, Management & Control
- CAD Interface/ Image Management
- Configuration Management
 - Change Order Creation & Control
 - Revision Control
- Engineering Data Management
- Product Information Management
- Technical Data Management
- Technical Information Management
- Engineering Item Data & BOMs

GESTÃO DAS OPERAÇÕES OPERATIONS MANAGEMENT

- MRPII Functionality
 - MPS, BOM, Routings, MRP, CRP
- Sales & Operations Planning
- Integrated Production Configuration
- Statistical Inventory Control
- Flexible Product & Job Costing Options
- Kanban/JIT/Flow Manufacturing Support
- Theory of Constraints/Advanced Planning



ACTIVIDADE COMERCIAL COMMERCIAL ACTIVITY

- Balance Market Demand With Resource Capability
- Develops a Contract Between Manufacturing and Marketing
- A Single Set of Numbers Upon Which to Base Plans and Schedules
- Manages Inventory and Backlog
- Forecasting

PLANEAMENTO PLANNING

- Supply Chain Optimization
- Constraint-based multi-location master planning
 - Generation of feasible production plans across multiple plants
- Constraint-based factory level scheduling
 - Generation of feasible schedules (integrated with feasible production plan)
- Optimized distribution and transportation planning
 - Intelligent allocation of inventory through a network



LOGÍSTICA LOGISTICS

- Purchasing
- Supplier Reliability Analysis
- Distribution Requirements Planning
- Global Transportation Management
- Fleet Management
- Shipping & Receiving
- Import/Export
- Warehouse Management

GESTÃO RECURSOS HUMANOS HUMAN MANAGEMENT

- Requisition Management
- Applicant Tracking
- Employee Master
- Job Descriptions
- Employee Evaluations
- Training & Certification Management
- Payroll Deduction Accounting
- Benefits Tracking



**QUALIDADE
QUALITY**

- Quality Management Plans
- Quality Specifications/Requirements
- Test/Inspection Results
- Cause and Corrective Action Tracking
- Process/Product Certification
- Statistical Quality Control
- Cost of Quality Reporting
- Equipment & Tool Calibration Mgt

**FINANÇAS
FINANCE**

- Financial Budgets
- General Ledger
- Accounts Payable
- Accounts Receivable
- Payroll
- Fixed Assets
- Cash Management
- Activity Based Costing
- Financial Statements

**MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
INDUSTRIAL MAINTENANCE**

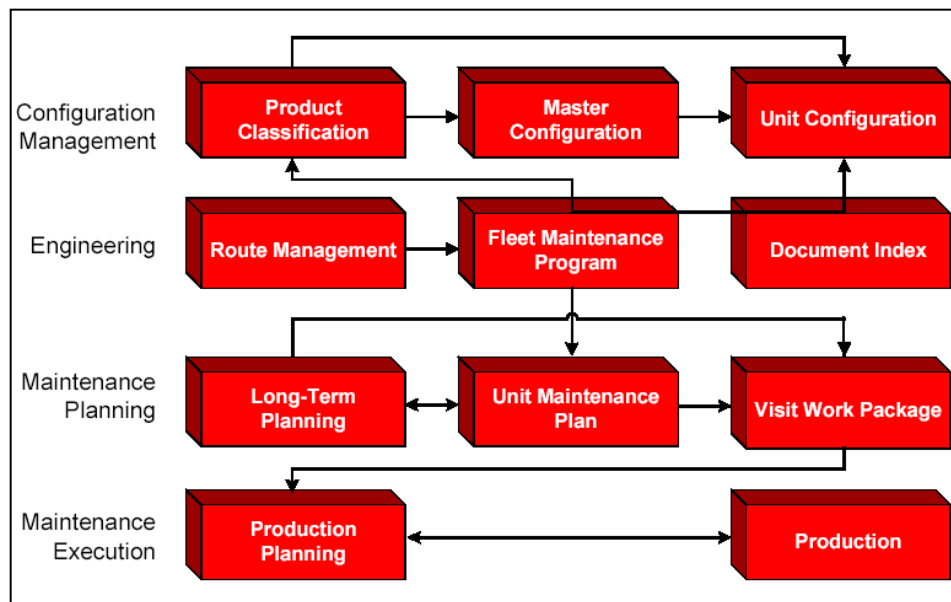
Installation Management

As-Maintained BOM

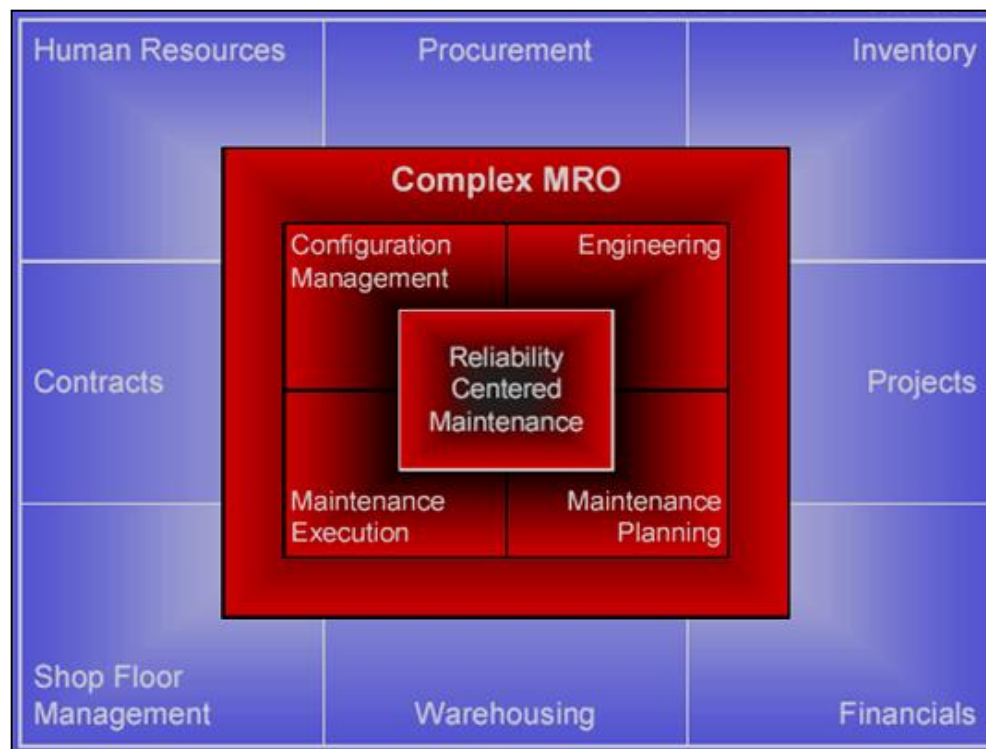
Preventative Maintenance Scheduling & Control

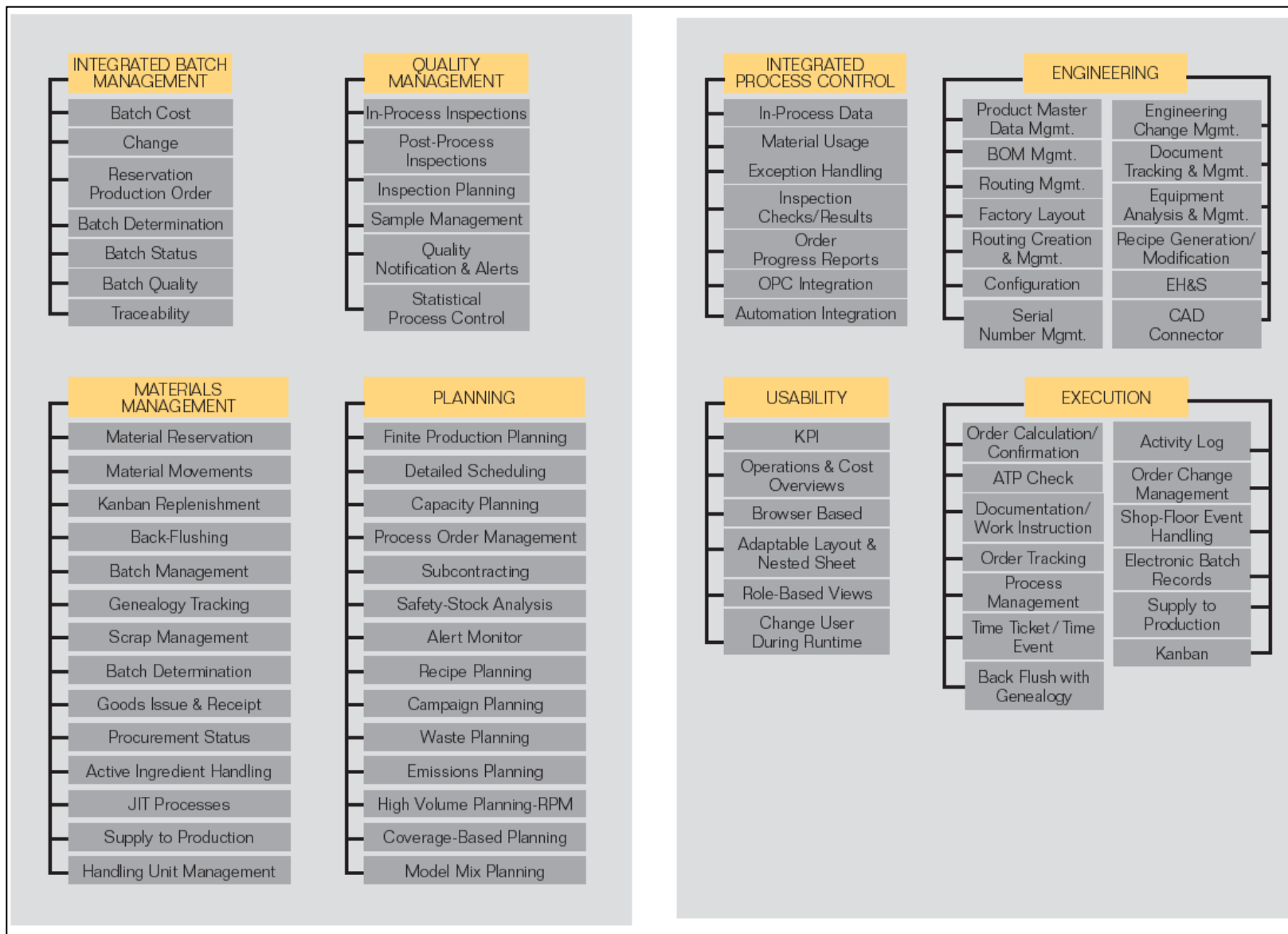
Service Order Planning & Control

As próximas figuras exemplificam funcionalidades de sistemas ERP relativas à manutenção de companhia de linha aérea.
The next pictures exemplify ERP functionalities related to maintenance of comercial airline,



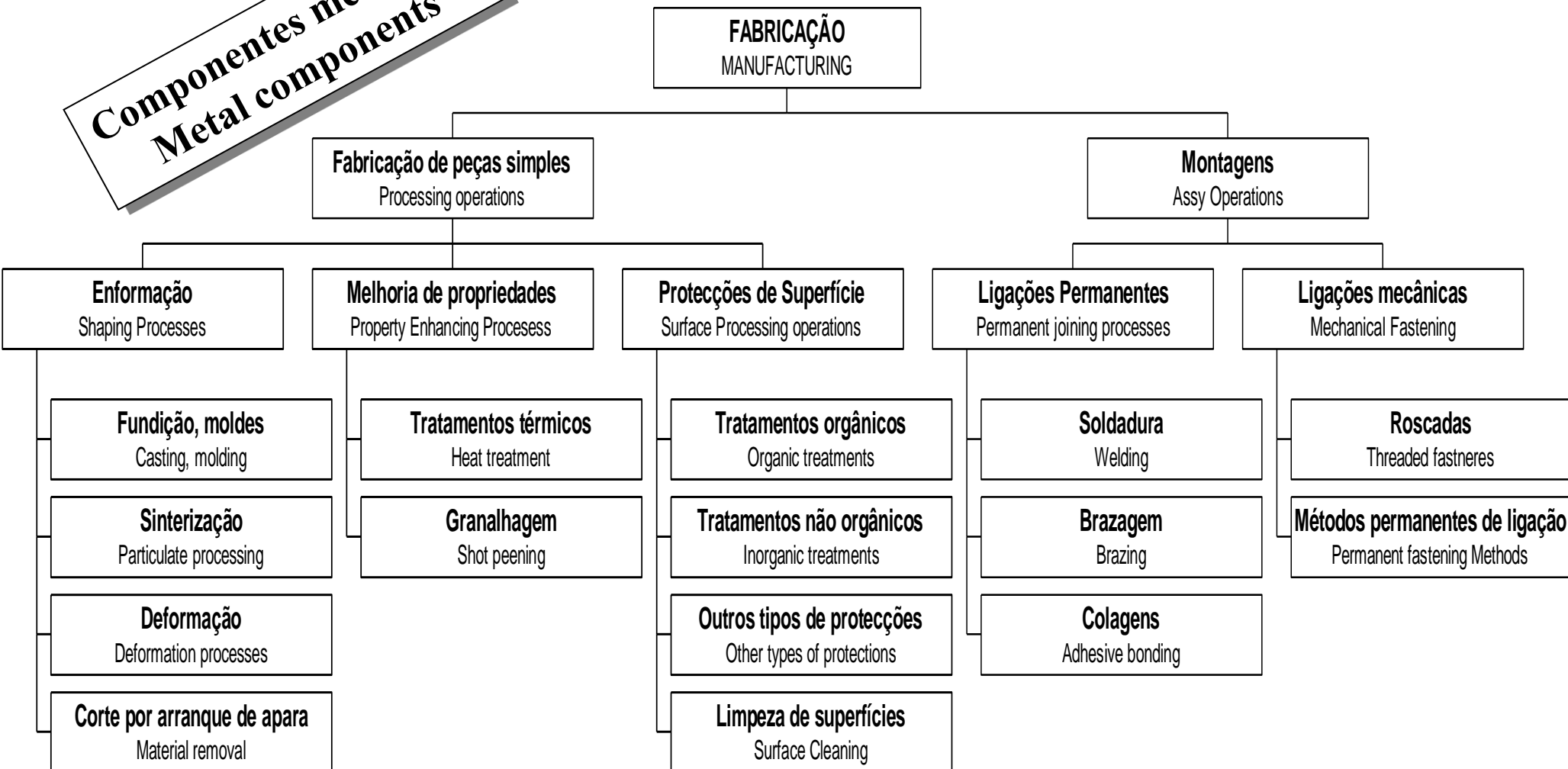
Fonte/source: www.oracle.com







Componentes metálicos
Metal components





FABRICAÇÃO
MANUFACTURING

Fabricação de peças simples
Processing operations

Enformação
Shaping Processes

Deformação
Deformation processes

Corte por arranque de aparas
Material removal



Hydroforming



Unidade de estiragem
Stretching machine



Unidade de prensagem
Pressing machine

Componentes metálicos
Metal components



FABRICAÇÃO
MANUFACTURING

Fabricação de peças simples
Processing operations

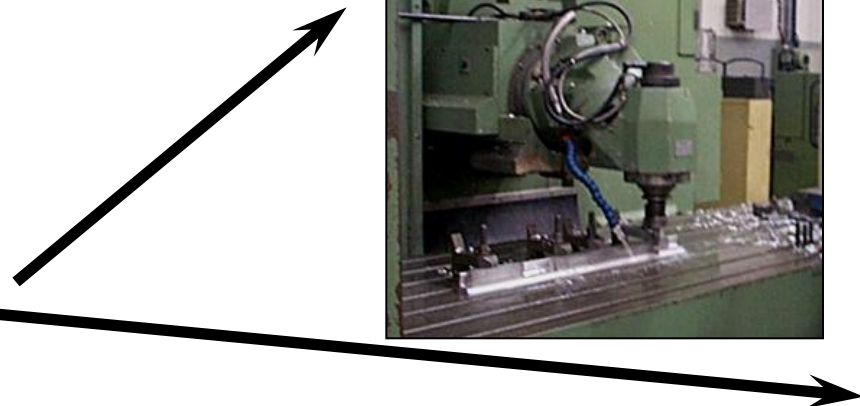


Fresadora CNC de 3 eixos
CNC 3 axes milling machine

Enformação
Shaping Processes

Deformação
Deformation processes

Corte por arranque de aparas
Material removal

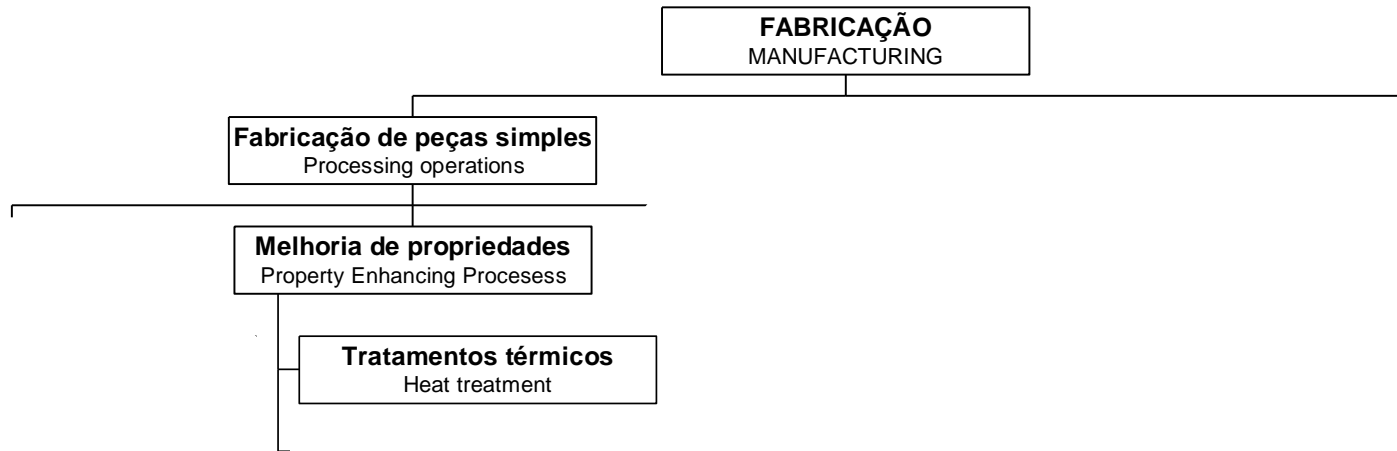


Fresadora CNC de 5 eixos de pórtico
CNC 5 axes milling machine gantry type

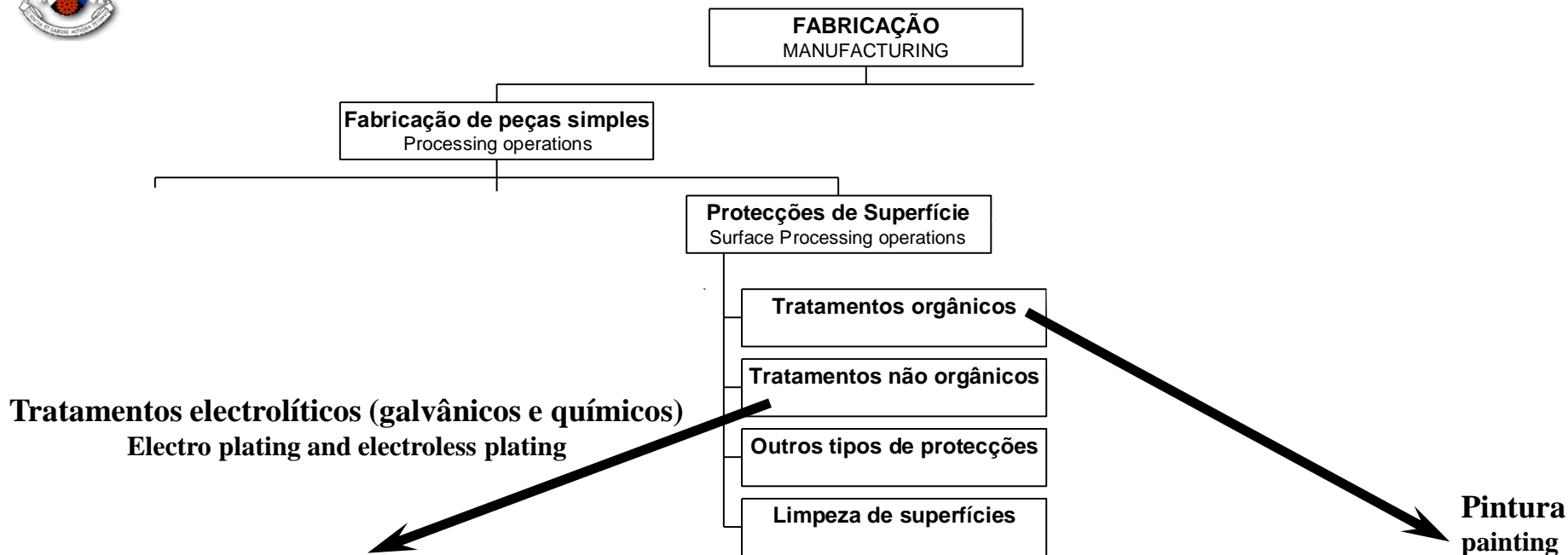


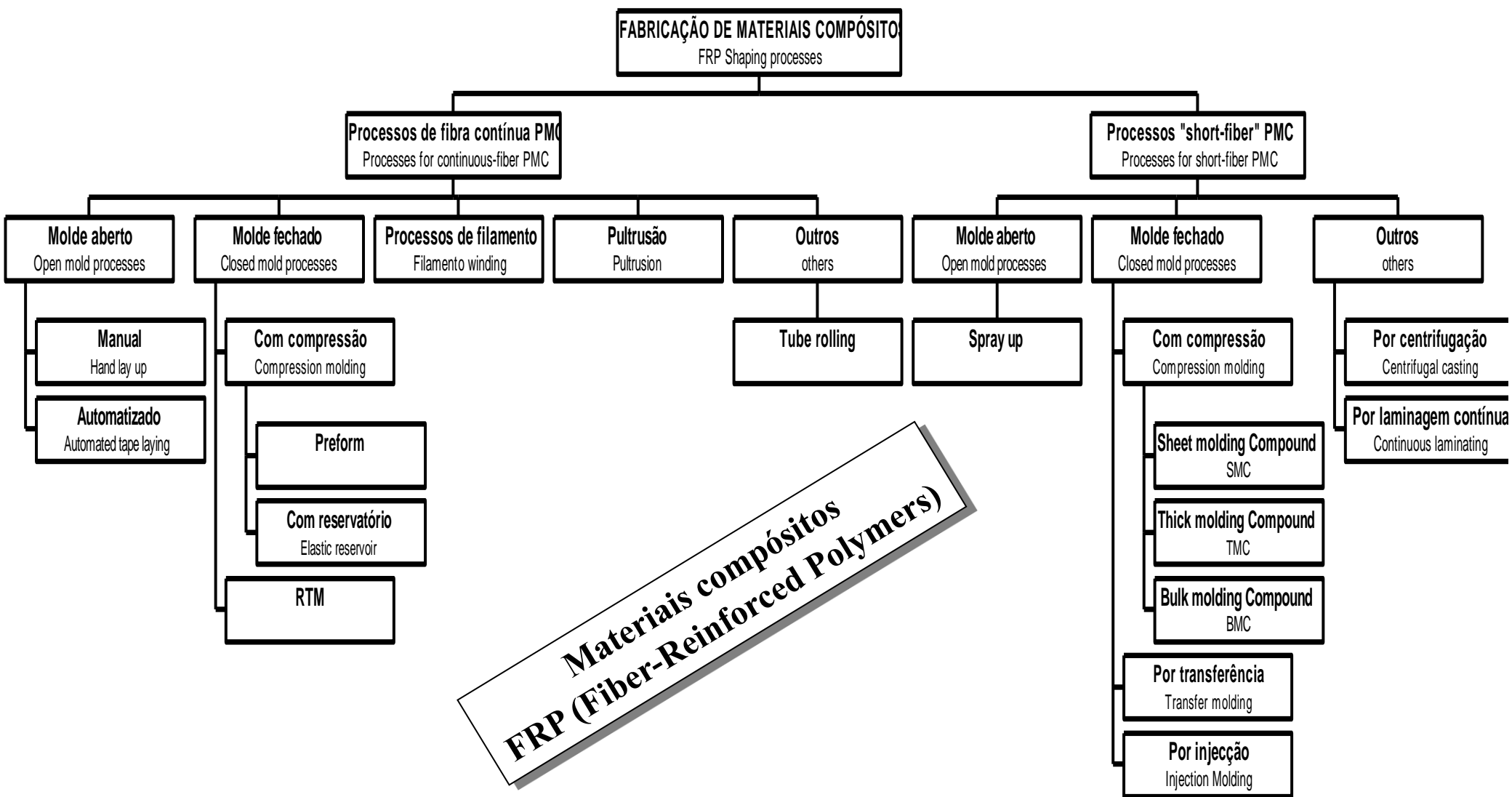
Unidade de recorte e furação
CNC router

Componentes metálicos
Metal components



Fornos de tratamentos térmicos
Heat treatment furnaces

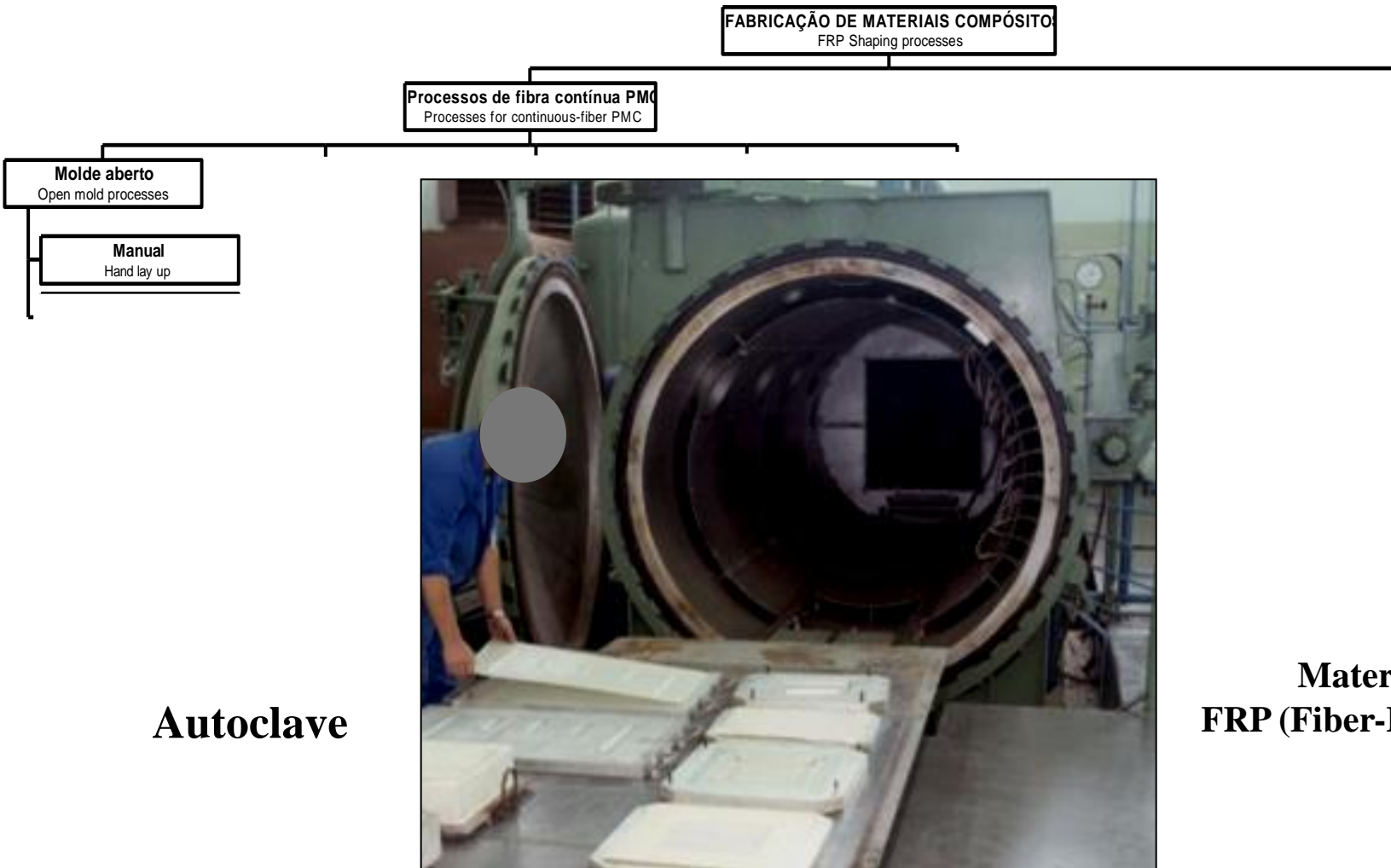






TECNOLOGIAS PRODUTIVAS EM AERONÁUTICA

Production technologies in aeronautics



**Materiais compósitos
FRP (Fiber-Reinforced Polymers)**

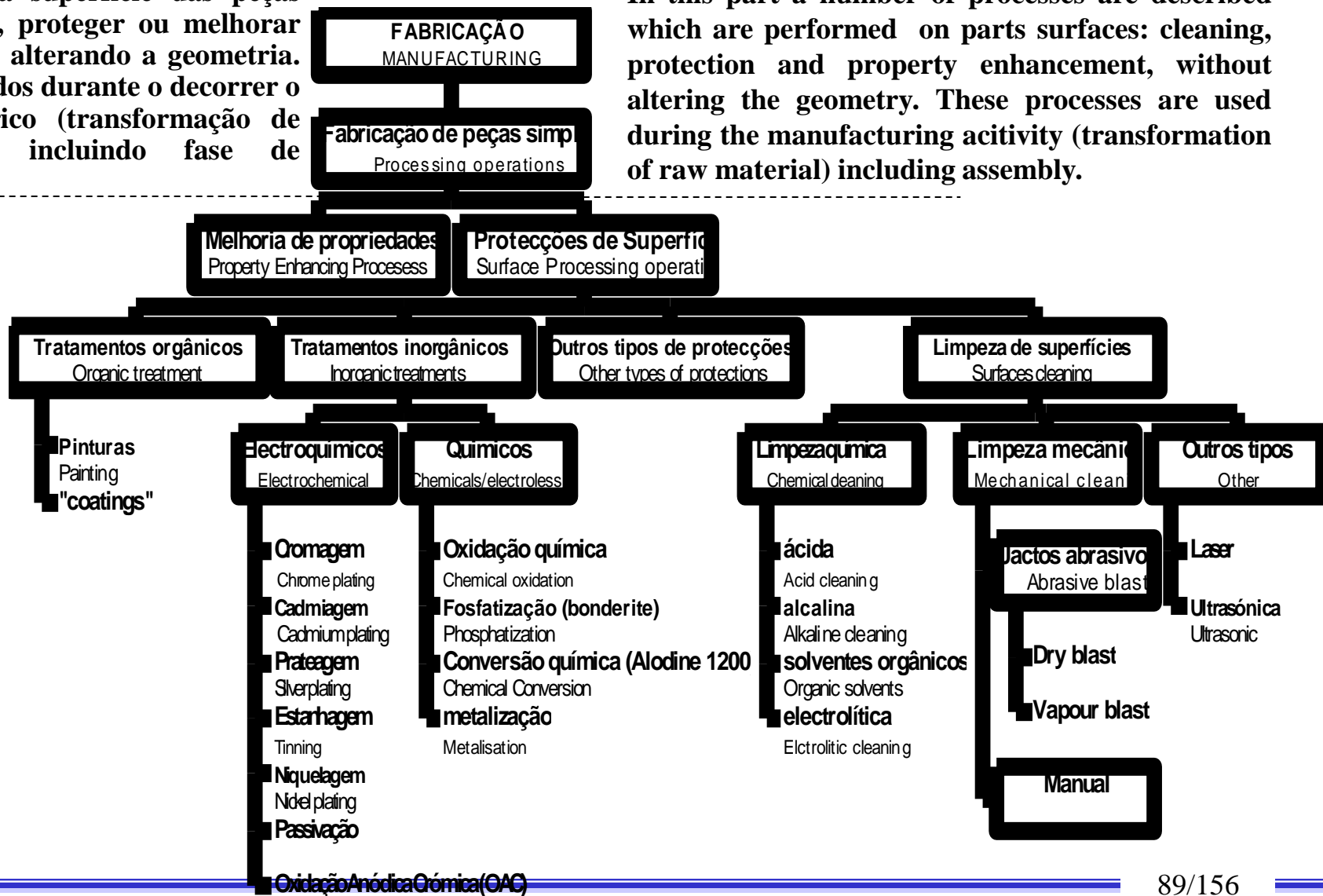


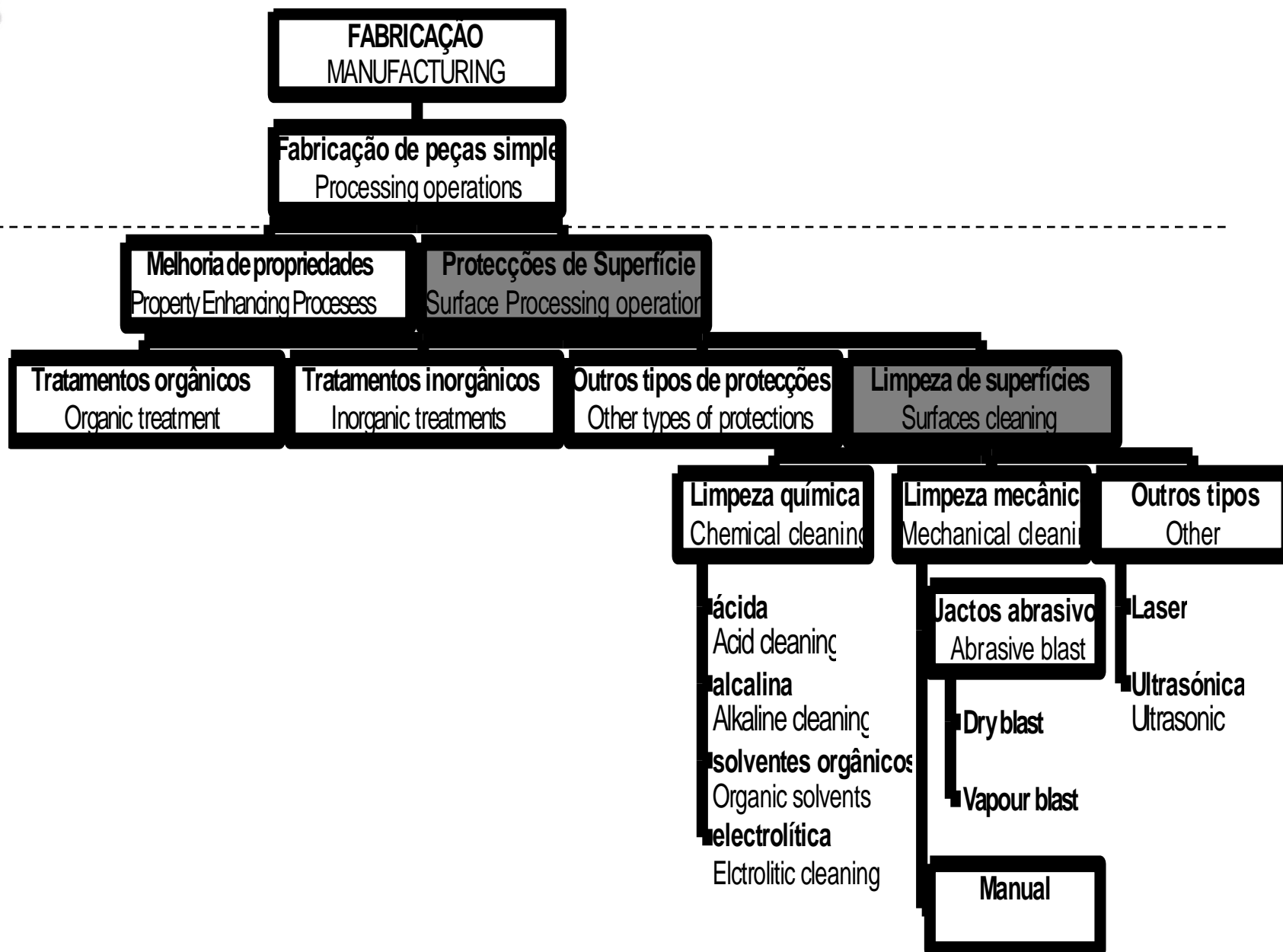
PROCESSOS CONVENCIONAIS – LIMPEZA E PROTECÇÕES DE SUPERFÍCIE

Cleaning & Surface protection

Nesta parte abordam-se vários processos que associados na superfície das peças quer para limpar, proteger ou melhorar propriedades, não alterando a geometria. São processos usados durante o decorrer o processo de fabrico (transformação de matéria prima) incluindo fase de montagem.

In this part a number of processes are described which are performed on parts surfaces: cleaning, protection and property enhancement, without altering the geometry. These processes are used during the manufacturing activity (transformation of raw material) including assembly.







TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE -GENERALIDADES **SURFACE TREATMENTS - General**

Os tratamentos de superfície têm por objectivo

- (1) alterar o aspecto dos produtos;
- (2) permitir a preparação das superfícies para facilitar a aplicação de subsequentes processos;
- (3) regenerar superfícies degradadas por desgaste, erosão, corrosão
- (4) melhorar resistência à oxidação a altas temperaturas;
- (5) alterar as propriedades de resistência à luz;
- (6) melhorar as propriedades mecânicas (resistência à fadiga, dureza, ductibilidade);
- (7) melhorar as propriedades de resistência ao uso (atrito, desgaste, aderência, corrosão, etc.);
- (8) melhorar as propriedades eléctricas (conductibilidade, resistência, etc);
- (9) melhorar as propriedades térmicas;
- (10) melhorar as propriedades ópticas;
- (11) melhorar as propriedades magnéticas.

The surface treatments exist in order to:

- (1) Enhance product appearance;
- (2) Prepare surfaces for subsequent processing;
- (3) Rebuild surfaces worn, eroded or corroded.
- (4) Improve resistance to high temperatures oxidation;
- (5) Improve resistance to light;
- (6) Improve mechanical properties (fatigue, hardness, ductility);
- (7) Improve resistance to use (friction, wear, adherence, corrosion, etc)
- (8) Improve electrical properties (conductibility, resistance, etc):
- (9) Improve thermal properties;
- (10) Improve optical properties;
- (11) Improve magnetical properties.



Os processos de tratamento de superfície podem ser divididos em :

- **Preparação de Superfícies;**
- **Revestimentos;**
- **Tratamentos de Conversão;**
- **Tratamentos Estruturais.**

A PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIES é obrigatória em todos os casos em que as peças sejam submetidas a qualquer tipo de tratamento posterior, permitindo:

- **remover camadas de sujidade, matéria orgânica ou óxidos metálicos, de modo a melhorar o contacto entre a superfície da peça e o seu posterior revestimento;**
- **permitir a transformação subsequente (como polimento) quando se pretende reduzir a rugosidade da peça a tratar para melhorar, por exemplo as características de um depósito posterior;**
- **proteger a peça entre as etapas de fabrico o que se faz protegendo-a com um revestimento de um filme adequado.**

The surface treatments can be divided in :

- **Surface preparation;**
- **Coatings;**
- **Conversion treatments;**
- **Structural treatments**

THE SURFACE PREPARATION is essential in all the cases when parts are to be submitted to a further treatment allowing to:

- **Remove any layer of dirt, organic materials or metal oxides, thus improving the contact between bare material and the coating to be applied;**
- **Permit further transformation (like polishing) when roughness needs to be diminished to allow a better coating;**
- **Protect the parts during the production process with an appropriate layer of product that will prevent part from being contaminated.**



NOS REVESTIMENTOS, o material a depositar não reage quimicamente, ou reage moderadamente com o material da peça, a qual não sofre, por isso, modificações estruturais apreciáveis.

Os revestimentos podem ser obtidos por via química, por via electrolítica, por imersão ou por projecção de um material diluído num solvente (pintura).

NOS TRATAMENTOS DE CONVERSÃO há uma transformação físico-química da camada superficial da peça, podendo haver modificações estruturais ou não, conforme a conversão seja mais ou menos difusa. As camadas de conversão obtêm-se por via química (Alodine 1200), por via electroquímica (Oxidação Anódica).

NOS TRATAMENTOS ESTRUTURAIS, a peça sofre alterações estruturais à superfície, as quais são geralmente induzidas por tratamento mecânico, térmico e por implantação iónica.

When using **COATINGS**, the material to be applied does not react chemically (ou reacts in a moderate way) with the material which does not suffer any appreciable structural modifications.

The coatings can be obtained through chemical deposition, electrolytic, immersion or projection of a material dissolved in a solvent (paint).

In the **CONVERSION TREATMENT** there is a physical and chemical transformation of the surface of the material, being possible to have structural modifications, depending on the level of the conversion diffusion. The conversion layers are obtained via chemical media (Alodine 1200) or electrochemical conversion (Anodic Conversion).

In the **STRUCTURAL TREATMENTS**, the part suffers modifications of its surface, being those induced by mechanical treatment and via ionic deposition.



Limpeza/Cleaning

A limpeza de peças é uma actividade essencial na medida as peças estão normalmente contaminadas seja com óleos/filmes protectores seja com sujidade ou outros contaminantes.

Desta forma, as peças carecem de limpeza (por várias vezes ao longo ciclo produtivo) a fim de:

- preparar a superfície;
- garantir a higiene do processo e desta forma as condições e a qualidade do trabalho;
- remover contaminantes que poderiam reagir com os produtos a aplicar;
- melhorar o aspecto das peças/produtos.

Na selecção do processo de limpeza vários factores deverão ter-se em conta:

- o tipo de contaminantes a remover;
 - : óleos e gorduras;
 - : partículas sólidas, e.g., pó, limalhas, etc;
 - : componentes de polimento;
 - : ferrugem/corrosão.
- o nível de limpeza pretendido;
- a produtos a usar para evitar reacções com o metal base a limpar.
- objectivo da limpeza;
- factores ambientais e de segurança;
- requisitos e custos de produção.

Cleaning is an essential activity because parts are normally contaminated with oil/grease, protecting films, dust or other contaminants.

As such, the parts require cleaning (various times along the production cycle) in order to:

- prepare the surface;
- ensure hygiene and safety of workers thus the conditions of work;
- remove contaminants which could react with the products to be applied;
- improve aspect of parts/products.

Part of the cleaning selection process, a number of aspects must be taken into account:

- Type of contaminants to remove;
 - : oil, grease;
 - : solid particles, e.g., dust, metal chips;
 - : polishing compounds;
 - : rust/corrosion.
- level of cleaning desired;
- product to be used to avoid reactions with the substrate material to be cleaned;
- objective of cleaning;
- environmental and safety factors;
- Production and cost requirements.



Os processos químicos correntes de limpeza são os seguintes:

- Limpeza alcalina;
- Por emulsão;
- Por solventes;
- Ácida;
- Ultrasónica.

1. LIMPEZA ALCALINA:

Trata-se do processo mais generalizado, que como o nome indica engloba a utilização de produtos alcalinos para remover óleos, gorduras, cêras, incluindo vários tipos de limalhas (carbono, sílica, etc).

As limpeza alcalinas recorre a soluções em água de sais, como exemplo:

- hidróxido de Sódio (NaOH);
- hidróxido de potássio (KOH);
- carbonato de sódio (Na_2CO_3);
- borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$);
- incluindo fosfatos de sódio e de potássio combinados com dispersantes .

O processo de limpeza realiza-se mergulhando as peças (ou sujeitando-as a um spray) a temperaturas entre 50 a 95 °C. Depois da aplicação da solução alcalina as peças são lavadas em água corrente para remover resíduos alcalinos.

CHEMICAL CLEANING PROCESSES

The current chemical cleaning processes are:

- Alkaline cleaning;
- Emulsion cleaning;
- Solvent cleaning;
- Acid cleaning;
- Ultrasonic.

1. ALKALINE CLEANING:

It is the most widely used process as its name indicates employs alkali to remove oils, greas.

The alkali cleaning uses water with salts solution:

- Sodium Hydroxyde (NaOH)
- Potassium Hydroxyde (KOH);
- Sodium Carbonate (Na_2CO_3);
- Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$);
- phosphates of sodium and potassium combined with dispersants.

The cleaning process is carried out by immersion (or using spray) at temperatures between 50-95 °C.

After application of the alkali parts are washed in lceaned water to remove any contaminants.



1. LIMPEZA ALCALINA (cont):

Limpeza electrolítica é um processo similar à limpeza alcalina em que uma corrente contínua de 3 a 12 V é aplicada à referida solução.

Com isso consegue-se a formação de bolhas gasosas à superfície da peça a limpar, provocando “scrubbing” remoção adicional dos contaminantes.

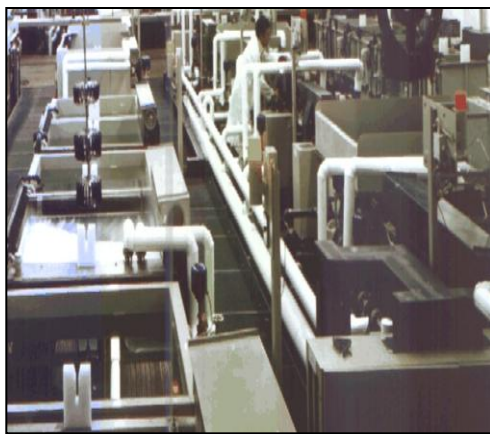
Existe 3 tipos de limpeza electrolítica:

- limpeza anódica em que a peça a limpar é carregada positivamente e as bolhas formadas são de O_2 ;
- Limpeza catódica em que a peça a limpar é carregada negativamente e as bolhas formadas são de H_2 ;
- Limpeza com polarização periodicamente invertida (na peça a limpar).

2. LIMPEZA POR EMULSÃO

Este tipo de limpeza recorre a solventes orgânicos (óleos) que se dispersam numa solução aquosa.

O uso de emulsões adequadas (sabões) resulta num produto limpeza de 2 fases, cuja função é emulsionar os contaminantes à superfície das peças. Este processo de limpeza pode ser usado tanto em metais com não-metais. Todavia tem que ser encerrado com uma limpeza alcalina para eliminar resíduos orgânicos.



1. ALKALINE CLEANING (cont) :

The electrolytic cleaning is similar process to the alkaline cleaning where direct current of 3-12 V is applied to generate gas bubbles inside the solution causing scrubbing action that aids removal of contaminants.

There are 3 types of electrolytic cleaning:

- anodic electrocleaning in which the part is positively charged and the scrubbing action is caused by release of O_2 at the part surface.
- cathodic electrocleaning in which the part is negatively charged and the scrubbing action is caused by release of H_2 at the part surface.
- Periodic reversal electrocleaning in which polarity is reversed several times during cleaning action.

2. EMULSION CLEANING

This type of cleaning uses organic solvents (oils) dispersed in aqueous solution. The use of suitable emulsifiers (soaps) results in a two-phase cleaning fluid (oil in water) which functions by dissolving or emulsifying the contaminants. This can be used for metal and non-metal parts.

However it must be followed by alkaline cleaning to remove organic solvents.



3. LIMPEZA POR SOLVENTES

Trata-se de um processo de limpeza assente na limpeza por solventes químicos, os quais são aplicados manualmente, imersão, por vaporização (spray) ou sujeitando as peças a ambiente de vapor dos solventes. Os solventes tipo mais comuns são normalmente à base de cloro ou fluor, sendo os mais usados:

- Tricloroetileno (C_2HCl_3);
- Percloroetileno (C_2Cl_4);
- 1,1,1-tricloroetano (CH_2Cl_2).

O ponto de ebulição deste tipo de solventes varia entre 40 a 120 °C.

Este tipo de produtos é potencialmente perigoso para o meio ambiente e para as pessoas, o que significa que o seu uso deve ser feito de forma adequada.

4. LIMPEZA ÁCIDA

Tal como nos processos anteriores a limpeza ácida pode ser feita de forma manual, com aplicação de spray ou em banho ácido, podendo ser realizado à temperatura ambiente a elevadas. Os fluidos de limpeza mais comuns são soluções ácidas normalmente combinadas com solventes, e.g., miscíveis em água. Os ácidos mais comuns usados são o:

- clorídrico (HCl),
- nítrico (HNO_3),
- fosfórico (H_3PO_4),
- sulfúrico (H_2SO_4)

3. SOLVENT CLEANING

This type of process is based on the dissolution of oils and greases by means of a chemical element.

The application of the chemicals include wiping, immersion, spraying and vapour degreasing.

The vapour degreasing is an important process using hot vapour of chlorinated or fluorinated solvents to remove the contaminants.

The principal solvents are:

- Trichloroethylene (C_2HCl_3);
- Perchloroethylene (C_2Cl_4);
- 1,1,1-trichloroethane (CH_2Cl_2);

Their boiling points range from 40°C to 120°C.

All these solvents are potential dangers for environment and humans, meaning that use and disposal must be done properly.

4. ACID CLEANING

As in similar processes application of acid cleaning can be made wiping, immersion, spraying, at ambient or elevated temperatures. Common cleaning fluids are acid solutions combined with solvents (water-miscible), being the most common acids the following:

- Hydrochloric (HCl),
- Nitric (HNO_3),
- Phosphoric (H_3PO_4),
- Sulfuric (H_2SO_4)



5. LIMPEZA ULTRA-SÓNICA

Este tipo de processo combina a utilização da limpeza química com vibração do meio por modo a tornar mais eficiente o processo de remoção de contaminantes.

O líquido de limpeza é normalmente uma solução com agentes alcalinos.

O mecanismo de limpeza ultra-sónico é o seguinte, em termos gerais:

- um gerador de frequência (25-40 KHz) provoca a vibração do meio com amplitude suficiente para causar cavitação, formação de bolhas de vapor de baixa pressão;
- À medida que ondas vibratórias se deslocam no seio do líquido (65-85 °C) devido ao diferencial de pressão, a seguir à região de baixa pressão sucede uma de alta pressão, o que leva à implosão das cavidades, desta forma produzido uma onda de choque capaz de remover as partículas contaminantes.
- Este processo repete-se ciclicamente, por efeito da acção do gerador tornando o processo de limpeza eficaz.

5. ULTRASONIC CLEANING

USC combines chemical cleaning with mechanical agitation of the cleaning fluid thus providing effective method for removing surface contaminants.

The cleaning fluid is generally an aqueous solution containing alkaline detergents.

The cleaning mechanism is the following:

- The mechanical vibration is produced by high-frequency vibrations (25-40 KHz) of sufficient amplitude to cause cavitation, formation of low pressure vapour bubbles or cavities.
- As the vibration wave passes a given point in the liquid (65-85 °C), the low-pressure region is followed by a high-pressure front that implodes in the cavities, thereby producing a shock wave capable of penetrating contaminant particles adhering to the part surface.
- This rapid cycle of cavitation and implosions occurs throughout the liquid thus making the USC effective in simple or complex shapes.



PROCESSOS MECÂNICOS DE LIMPEZA **E DE** **PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIES**

Os processos mais comuns de limpeza de peças incluem limpeza em meio seco e húmido, recorrendo a jactos abrasivos (dry blast e wet blast).

O processo mais conhecido é o de limpeza por jacto de areia (sandblasting) usando sílica (SiO_2). Todavia existem outros agentes de limpeza, e.g., óxido de alumínio (Al_2O_3), bem como elementos mais macios como é o caso nylon e de caroço de fruta. Os elementos são projectados a partir de ar comprimido ou força centrífuga.

Shotpeening é um processo de projecção de materiais (metálicos ou de outra natureza) com o fim de induzir tensões de compressão à superfície de peças. Embora tenha objectivo distinto da limpeza, acaba no final também por ter efeito semelhante.



Equipamentos tipo de limpeza
Example of mechanical equipments

«----- Dry blast

Wet blast-----»

MECHANICAL CLEANING PROCESSES **AND** **SURFACE PREPARATION**

Dry blast and wet blast are the most common processes to mechanically clean parts.

The most well know process is sandblasting using grits of sand (SiO_2).

However other media agents exist, such as Aluminium oxide (Al_2O_3), as well as pther soft elements like nylon and crushed nut shells. The media is propelled using compressed air or cenfiugal forces.

Shotpeening is process where metal or other elements are projected against at a metallic surface with the effect of inducing compressive stresses into the surface layers .





DIFUSÃO E IMPLANTAÇÃO DE IÕES

A difusão de iões é um processo de alteração das características dos materiais através da difusão de átomos para endurecer a superfície ou melhorar a resistência ao desgaste ou corrosão

São exemplos de difusão iónica, cementação (pelo carbono), nitruração, carbo-nitruração.

Vários tipos de elementos podem ser adicionados à superfície, a temperaturas de difusão que variam entre 900-1200 °C, valor que determina a profundidade da penetração que pode ir desde 0,025 mm até 1 mm.

A implantação de iões é um processo alternativo ao anterior, segundo o qual iões são projectados num jacto de elevada energia para a superfície criando uma camada espessa.

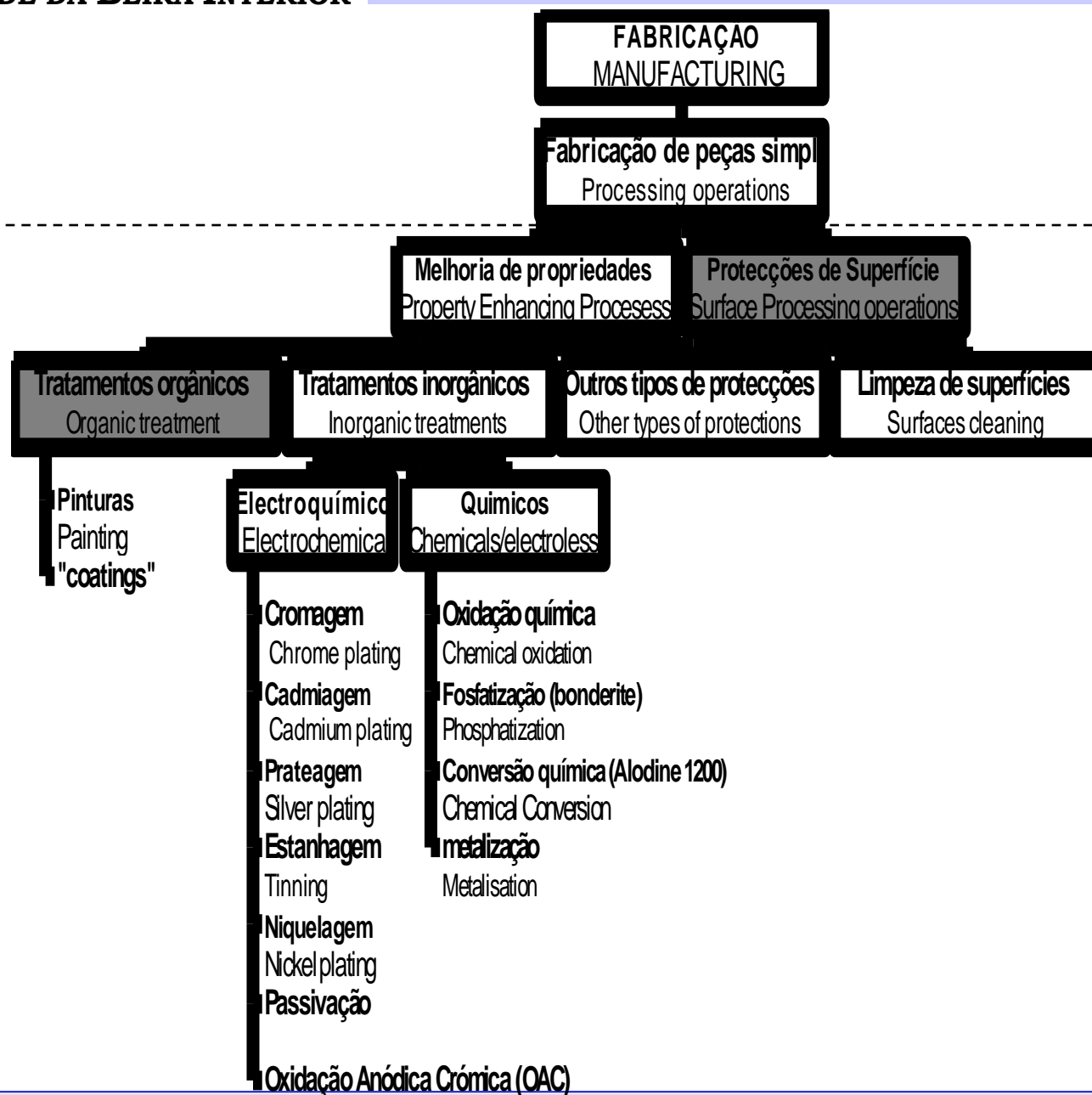
DIFFUSION AND ION IMPLANTATION

Ion diffusion is a process aimed to alter the surface characteristics through the diffusion of atoms to harden the surface of materials.

Carburizing (using carbon), nitriding and carbonitriding are typical examples of ion diffusion whose objective is to harden the surface in order to improve resistance to wear as well as corrosion.

Ion diffusion elements are added to surface at temperature ranging from 900-1200 °C, value that determines the level of depth to which ion will penetrate the surface, which may range from 0,025 mm to 1 mm.

Ion implantation is an alternative process to diffusion. This process includes projection of ions using a high energy beam of ionized particles.





TRATAMENTOS ORGÂNICOS **ORGANIC TREATMENTS**

Os tratamentos orgânicos são compostos de polímeros e resinas, obtidos de forma natural ou produzidos sinteticamente, quase sempre disponibilizados sob a forma de líquidos (ou pós) que secam e/ou endurecem sob a forma de camadas finas (filmes) sob o material base.

Os revestimentos orgânicos contém os:

- elementos de ligação (binders) os polímeros (fixadores/aglomerantes);
- os pigmentos de coloração (dyes/pigments),
- solventes para diluir os polímeros;
- Aditivos.

Os binders (fixadores/aglomerantes) incluem os polímeros que dão as características ao revestimento, como resistência, aderência. Os binders mais comuns são as resinas de poliésteres, poliuretanos, epóxi, acrílicas e celulósicas.

Os pigmentos são elementos de coloração insolúveis nos “binders”.

Os solventes são usados para dissolver os *binders*, sendo os mais comuns materiais alifáticos e aromáticos, e.g., alcóois, ésteres, acetonas e solventes clorados.

The organic coatings are made of polymers and resins, produced either synthetically or naturally, formulated to be applied as liquid (or powder) that dry or harden as thin surface films.

The organic coatings are made of:

- a binder made of polymers;
- dye /pigments that give the colour;
- solvents that act like a vehicle.
- additives.

The binders include polymers that give the characteristics to the surface of the material, such as, strength and adherence. The most common binders are resins of polyesters, polyurethanes, epoxies, acrylics and cellulose.

The dyes/pigments give the coloration to the coating and are insoluble in the binder.

The solvents are used to dissolve the binders, being the most common aliphatic and aromatic hydrocarbon, e.g., alcohol, esters, ketones and chlorinated solvents.

Os aditivos são elementos que conferem ao revestimentos propriedade adicionais, e.g.,

- fungicidas,
- espessantes,
- catalizadores para promover as ligações químicas cruzadas,
- estabilizadores de calor e luz;

The additives which are products that provide additional properties to the coating, include, among others:

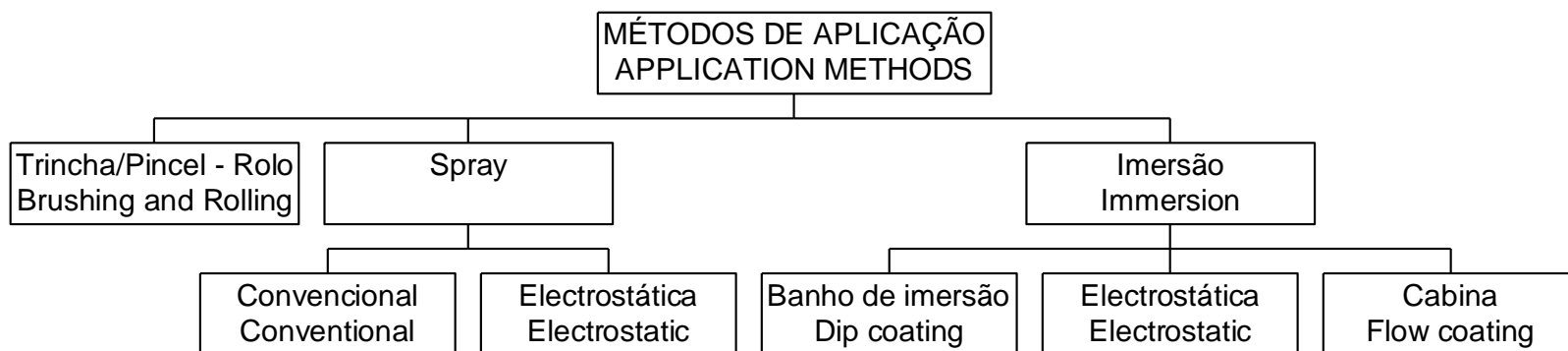
- fungicides;
- thickeners;
- catalysts to promote cross-links;
- heat and light stabilizers.

Este tipo de ingredientes permite obter diferentes tipos de revestimentos, e.g., tintas, lacas, vernizes.

These type of ingredients permit to obtain various types of coatings, that is, paints, lacquers and varnishes.

Os métodos actuais de aplicação de revestimentos são os seguintes:

The current methods related to coating applications are the following:

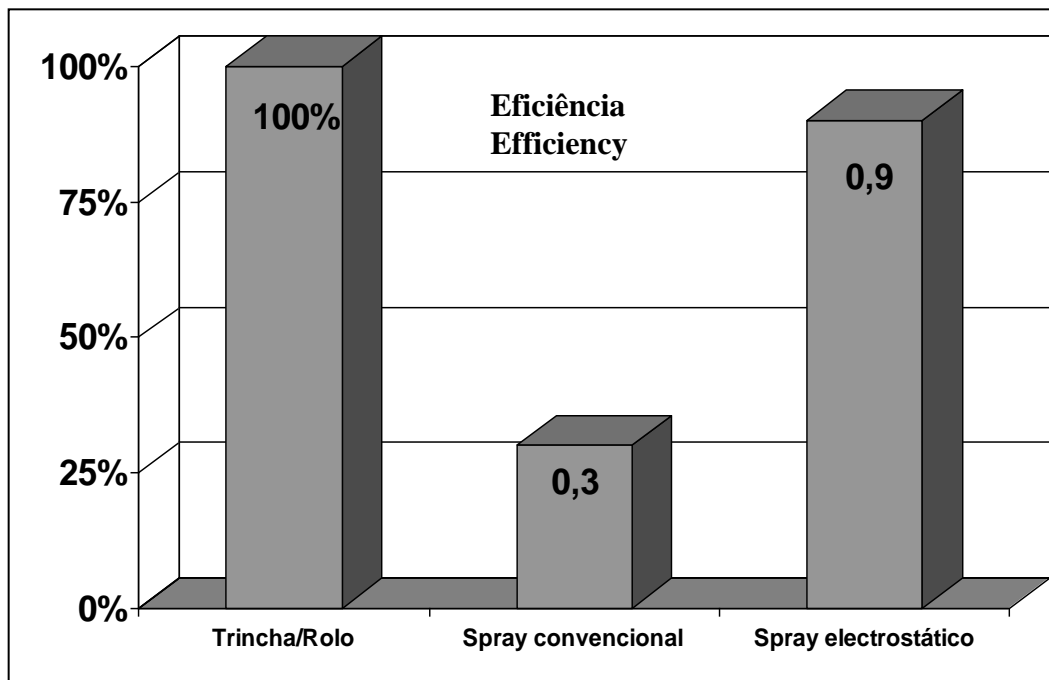


Cada um dos métodos de aplicação do revestimento apresenta valores de eficiência distintos, isto é, ratio entre o revestimento vertido sobre a superfície e o que efectivamente adere.

O gráfico a seguir apresenta valores típicos de eficiência para aplicação de revestimentos (pintura).

Each of the application methods have different efficiency values, that is, the coating supplied vs the actual value deposited.

The picture below exhibits the typical values of the efficiency related to the coating processes (painting).

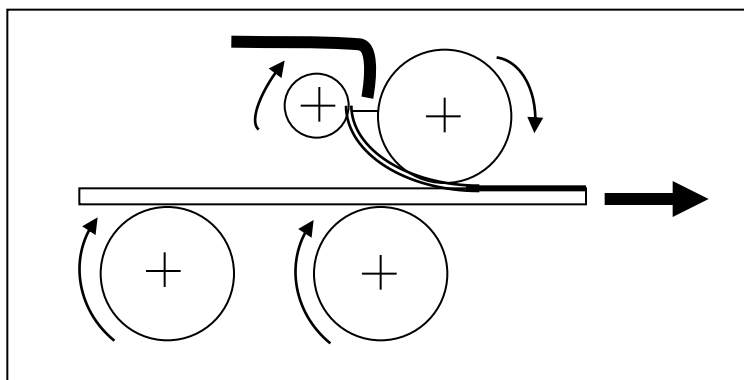


APLICAÇÃO COM TRINCHA/ROLO

É o processo mais comum de aplicação de revestimentos com uma eficiência da ordem de 100%. É um processo para poucos volume de trabalho excepto na aplicação por rolo que permite elevada produtividade.

BRUSHING AND ROLLING

This type of process has an efficiency close to 100%. The brushing process has a low productivity level while the rolling process can reach high values.



**PROCESSO DE APLICAÇÃO POR ROLO
ROLLING PROCESS SCHEMATICS**

DEPOSIÇÃO POR SPRAY

A deposição por spray é um processo de grande produtividade em que a deposição é uniforme, embora de eficiência baixa. Todavia, é possível aumentar recorrendo a deposição electrostática (como se observa em pintura de aeronaves), podendo os valores ascender a cerca de 90%.

SPRAY DEPOSITION

Spray deposition is a high effectivity process where material deposition is very uniform although with low efficiency.

However it is possible to increase it if electrostrastic deposition is used (like in aircraft painting), being possible to reach 90%.



IMERSÃO

Aplicação de revestimentos engloba:

- banho por imersão;
- banho electrostático;
- Aplicação em cabina.

A eficiência de todos estes processos é elevada na medida em que tratando-se de imersão com reaproveitamento não existe desperdício de revestimento.

SECAGEM E CURA

Uma vez aplicado o revestimento este deve ser convertido de líquido em sólido.

O termo secagem corresponde a esta conversão a qual envolve na maior parte dos casos a evaporação dos solventes que compõem o revestimento. Todavia para garantir que o revestimento é durável é necessário conversão adicional: cura.

A cura envolve alterações químicas na resina orgânica envolvendo polimerização ou ligações cruzadas para endurecer o revestimento.

IMERSION

The application of coatings using this process includes:

- Dip coating;
- Electrostatic Dip Coating;
- Flow Coating.

The efficiency of these process is high, because the coating not used is covering the all the surface as well as due to the nature of the process it is recovered (close loop).

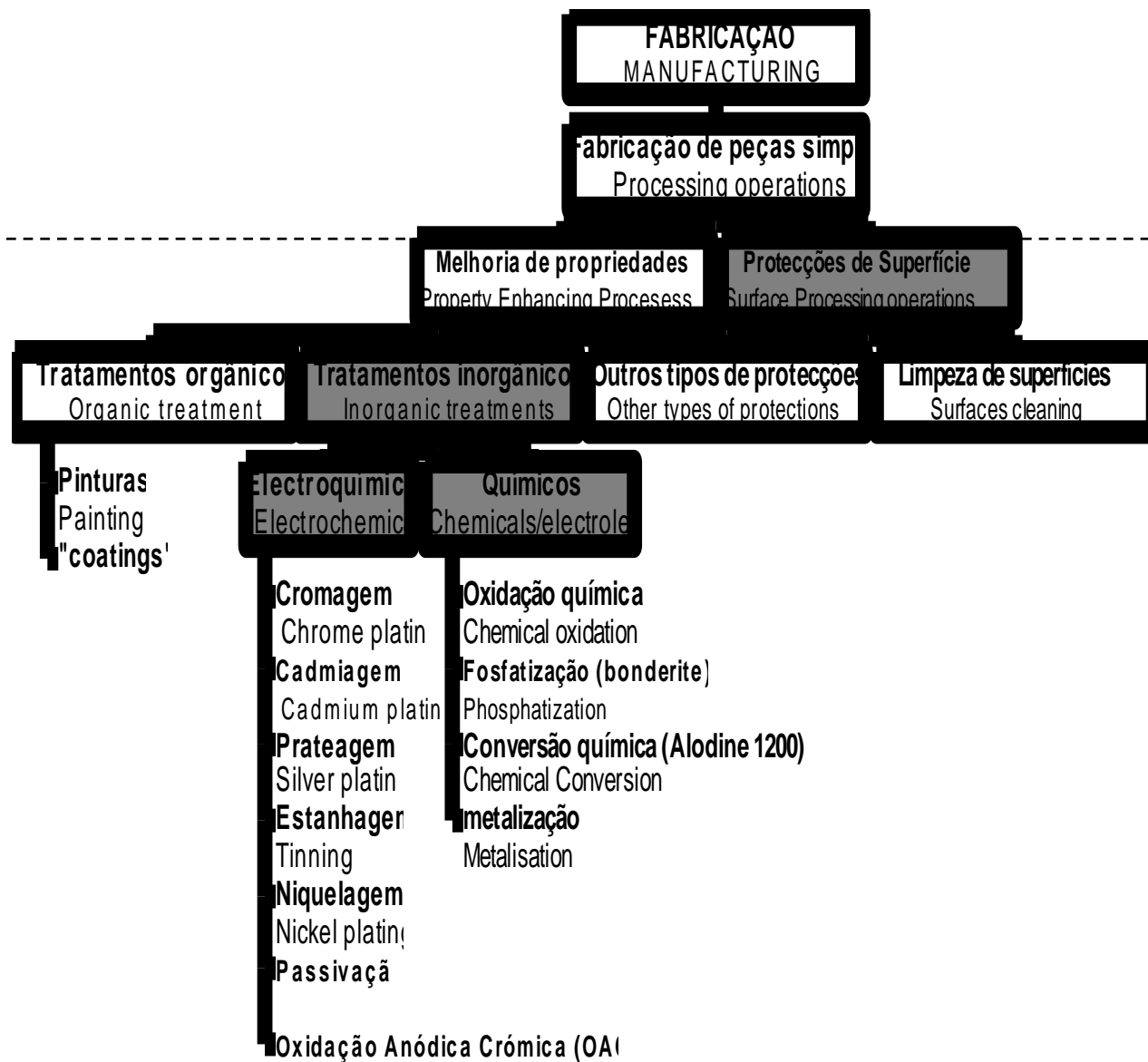
DRYING AND CURE

Once applied the coating must be converted into solid.

The drying process corresponds to a conversion which involves evaporation of the solvents.

However to ensure that coating is durable it is required an additional conversion: a cure.

The cure involves chemical changes of the organic resin with polimerization or the establishing of cross link to harden the coating.





TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE APLICADOS AOS ALUMÍNIOS
SURFACE TREATMENT APPLICABLE TO ALUMINIUM

Conversão Química do Alumínio, (“Alodine 1200”)

APLICAÇÃO

O tratamento de Conversão Química aplica-se ao tratamento químico de metais e/ou revestimentos metálicos em soluções contendo ácido crómico, cromatos ou dicromatos como constituintes principais.

Este tratamento produz na superfície metálica uma película protectora de conversão formada por compostos de crómio.

Os objectivos principais do tratamento de conversão química são os seguintes:

- aumentar a resistência à corrosão do metal ou do revestimento metálico;
- aumentar a aderência de tintas ou outros revestimentos orgânicos.

ESPECIFICAÇÕES

A especificação mais utilizada para a aplicação do tratamento por conversão química do alumínio é a SAE AMS-C-5541.

Chemical Conversion of Aluminium (“Alodine 1200”)

USE

The Chemical Conversion is applied to the chemical treatment of metal and/or metal coatings in solutions containing chromic acids, cromates and dicromates as main components.

This treatment produces in the surface of the material a protective film made of chromium components.

The main objectives of the chemical conversion are the following:

- increase corrosion resistance of metal or of its metal coating;
- improve the adherence of painting or of other organic coatings.

SPECIFICATIONS

The mostly common specification related to the chemical conversion is SAE-C-5541.



Neste processo podem distinguir-se dois tipos de películas:

Classe 1A – película colorida que confere à superfície a máxima resistência à corrosão e melhora a adesão dos revestimentos por pintura.

Classe 3 – película ligeiramente colorida que confere à superfície uma baixa resistência eléctrica.

LIMITAÇÕES

As películas de conversão química do Classe 1A não são aplicadas a superfícies exteriores que posteriormente não sejam protegidas com acabamentos orgânicos.

Não se aplicam películas de conversão química em peças que posteriormente vão ser coladas ou soldadas.

EXEMPLOS

Vide próximas figuras

In this process two types of cover films can be defined:

Class 1A – a colour film which gives to the surface maximum resistance to corrosion and improves adherence of painting;

Class 3 – a slightly colourful film which give to the surface of the part low electrical resistance.

LIMITATIONS

The Class 1A chemical conversion will not be used in material surface to be protected with organic coatings.

Chemical converison is not used when parts are to be bonded or welded.

Examples

See next figures.



Cauda de helicóptero
Helicopter Tail



Secção de fuselagem (cauda)
Rear fuselage section



OXIDAÇÃO ANÓDICA

APLICAÇÃO

A anodização do alumínio consiste em produzir na superfície do metal uma película de óxido de alumínio (alumina) quando o alumínio funciona como ânodo num processo de electrólise.

ESPECIFICAÇÕES

A especificação mais utilizada para a aplicação do tratamento por conversão química do alumínio é a SAE AMS-A-8625.

CLASSIFICAÇÃO

De acordo com a especificação em referência as películas de anodização podem ser dos tipos seguintes:

Tipo I,IB,IC	Oxidação Anódica Crómica(OAC)
Tipo II,IIB	Oxidação Anódica Sulfúrica(OAS)
Tipo III	Oxidação Anódica Dura (OAD)

Classes

A classe é definida de acordo com a impregnação que é feita:

- Classe 1- Colorida
- Classe 2- Não colorida

ANODIC OXIDATION

APPLICATION

The anodizing of aluminium consists in producing a metal surface with aluminium oxide (alumina) when aluminium acts like anode in the electrolyses process.

SPECIFICATION

The mostly used specification related to the chemical conversion is SAE AMS A-8625.

CLASSIFICATION

Pursuant to the specification concerning the anodizing films they can be classified as follows:

Type I, IB, IC Oxidation Anodic Chromic
Type II, II B Oxidation Anodic Sulphuric
Type III Oxidation Anodic Hard

Classes

Based on the dye/prigments used the classes can be:

- Class 1 – Colorful
- Class 2 – No colour



Oxidação Anódica Crômica(OAC)

A oxidação anódica crômica promove uma boa resistência à corrosão, quando pintada posteriormente.

LIMITAÇÕES

O tratamento OAC não se aplica a ligas de alumínio que contenham mais do que 5% em cobre, ou ligas que contenham mais do que 7% em silício, ou, em geral, a todas as ligas que contenham mais do que 7,5 % de elementos de liga.

Oxidation Anodic Chromic

The OAC promotes good resistance to corrosion when part is then painted.

LIMITATIONS

The OAC does not apply to aluminium alloys with more than 5% of copper, or alloys with more than 7% silica or in general any alloy with more than 7,5%.



TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE APLICADOS AOS AÇOS
SURFACE TREATMENT APPLICABLE TO STEEL

PASSIVAÇÃO

Caracterização

Durante as operações de maquinação e moldagem podem ficar embutidas na superfície das peças em aços inoxidáveis algumas partículas de aço ou partículas metálicas estranhas.

Estas partículas se não forem removidas da superfície podem originar pontos de óxido ou estabelecer pares galvânicos que podem ser prejudiciais para as peças.

O tratamento de passivação permite remover essas partículas estranhas à peça e acelerar o processo de formação da camada de óxido superficial por meio de soluções químicas (ácido nítrico) aumentando a resistência à corrosão das mesmas.

Trata-se de um tratamento que não produz alterações dimensionais nas peças tratadas.

ESPECIFICAÇÃO

A especificação mais utilizada para a aplicação do tratamento por passivação é a SAE AMS-QQ-P-35.

PASSIVATION

General

During machining and casting operations of stainless steel pieces, it is possible that steel and other undesired particles contaminate such item.

Shall such parts not be removed from the surface then oxide spots can appear and eventually establish galvanic pairs which can be harmful to the parts.

The passivation treatment allows to remove such particles as well as accelerate the process of formation of superficial oxides using chemical solutions (e.g., nitric acid) whilst improving the corrosion resistance.

This type of treatment does not produce any dimensional changes to the treated parts.

SPECIFICATION

The most common specification applicable to this process is SAE AMS-QQ-P-35.



Esta especificação define o tipo de passivação a aplicar conforme o tipo de liga

Tipo I – Passivação com ácido nítrico.

Tipo II – Passivação com ácido nítrico e dicromato de sódio

A tabela abaixo identifica o tipo de aços a que se aplicam os vários tipos de passivação.

Tipo de Passivação – Passivation Type	Tipo de Liga - Steel Alloy
I	Aços austeníticos - Austenitic
II	Aços martensíticos e ferríticos -Martensitic

This type of specification defines the Passivation type to be used according to the type of alloy.

Type I – Nitric acid Passivation

Type II –Nitric acid and dicromate sodium Passivation

The table below identifies the type of steels to which Passivation is applicable.

FOSFATAÇÃO

Caracterização

A fosfatização, também designada por fosfatação, é um tratamento dos aços não electrolítico para o pré-tratamento antes de pintura ou para a prevenção à corrosão (similar à conversão química).

PHOSPHATIZATION

General

Phosphatization is a non electrolytic process applicable to steel, used as a:

- pre-treatment for painting;
- corrosion prevention (similar to chemical conversion).



FOSFATAÇÃO

Especificação

As películas de fosfatação classificam-se em 2 tipos:

Tipo M – base manganês

Tipo Z – Base Fosfato de Zinco (processo mais utilizado)

Em geral, a fosfatação tipo Z é aplicada nas peças com pintura posterior, enquanto que a fosfatação tipo M usa-se quando sobre as peças se aplicar um lubrificante.

Limitações do Processo

As películas de fosfatação do Tipo Z, não devem ser aplicadas a peças que estejam sujeitas a ambientes alcalinos ou que sejam submetidas a temperaturas superiores a 93 °C, enquanto para o tipo M este valor não deve ultrapassar 121 °C.

Aplicações

Utilizado em peças onde não é possível aplicar a cadmiagem. É aplicado em zonas que estão sujeitas a tensões pequenas, com movimentos limitados e com adição de lubrificante.

PHOSPHATIZATION

Specification

The phosphatization film can be classified in 2 types;

Type M – Mn base

Type Z – Zinc phosphate base (mostly used process)

In general, the Z type phosphatization is applicable when parts are to be painted while Type M is used when parts are to be lubricated.

Process limitation

The type Z must not be used in environment where alkali exists or if parts are to be submitted to temperatures above 93 °C whilst for Type M maximum part temperature shall be 121 °C .

Application

This type of process is used when cadmium plating can not be applied. It is also used in parts submitted to low values of stress, with limited movements and when lubrication is used.



CADMIAGEM

Caracterização

Revestimento utilizado para proteger o metal base de agentes atmosféricos corrosivos ou com o objectivo de diminuir pares galvânicos entre dois metais dissimilares (por exemplo, aço/alumínio).

As películas de cádmio devem ser depositadas directamente sobre o metal base sem qualquer tratamento prévio, no entanto, no caso de aços inoxidáveis é necessária uma deposição prévia de níquel ou cobre.

Especificação

A especificação mais utilizada é SAE AMS-QQ-P-416.

A especificação é aplicada a aço e ferro, podendo ser aplicada no alumínio e níquel, mediante a aplicação de um revestimento aderente, por exemplo de zinco (“Zincate”).

De acordo com o tratamento suplementar à cadmiagem electrolítica, podem distinguir-se 3 tipos de tratamento:

- Tipo I** –Sem tratamento suplementar.
- Tipo II** –Com tratamento suplementar de cromatos.
- Tipo III** –Com tratamento suplementar de fosfatos.
Este tipo é muito usado quando se pretende uma boa base para pintura.

CADMIUM PLATING

General

Plating used to protect the base metal from corrosive environment agents or to reduce the galvanic pairs between two different materials, e.g., aluminum and steel.

Cadmium plating shall be applied directly on the base bare material, without any previous treatment, except in stainless steel which requires previous nickel or copper plating.

Specification

SAE MAS-QQ-P-416 is the most common specification.

The specification can be applied to steel and iron, as well as to aluminium and nickel. In this case a previous coating shall be applied, like Zincate.

Pursuant to the supplementary treatment that can be applied to the cadmium plating, 3 types can be defined:

- Type I** – without any additional treatment;
- Type II** – with chromate treatment;
- Type III** – with phosphate treatment. This type of additional treatment is used when a good painting base is required.



De acordo com a espessura de cádmio a aplicar, podem distinguir-se três classes:

Classe 1	–	Espessura de 13 a 20 μm;
Classe 2	–	Espessura de 8 a 13 μm;
Classe 3	–	Espessura de 5 a 8 μm.

Limitações

Os revestimentos de cádmio não devem ser utilizadas nas seguintes aplicações:

- **Em peças em contacto com fluídos hidráulicos, óleos lubrificantes, ou outros fluidos derivados do petróleo;**
- **Em peças que em operação tenham de estar submetidas a temperaturas superiores a 235 °C, ou em contacto com outras peças que atinjam essa temperatura;**
- **Em peças que posteriormente sejam soldadas;**
- **Sobre o titânio ou em peças que após cadmiagem sejam colocadas em contacto com peças de titânio;**
- **Em peças sujeitas a atrito durante a sua utilização.**

According to the cadmium plating thickness 3 classes exist:

Class 1	–	[13, 20] μm;
Class 2	–	[8 , 13 [μm;
Class 3	–	[5 , 8 [μm.

Limitações

The cadmium plating can not be used in parts under the following circumstances:

- **When it is in contact with hydraulic fluids, lubricant oils, or with any petroleum originated oils.**
- **When it is submitted to temperatures above 235 °C, or with parts reaching such temperatures;**
- **If it is to be welded;**
- **In titanium parts or in parts that will be in contact with titanium parts;**
- **In parts submitted to friction during use.**



CROMAGEM

Caracterização

A deposição de crómio (duro) é frequentemente utilizada para proteger o metal base contra a corrosão, desgaste (atrito), abrasão e calor.

Este tratamento é utilizado ainda para a recuperação das dimensões originais de peças desgastadas.

Os revestimentos de crómio duro devem ser depositados directamente sobre o metal base sem qualquer tratamento prévio, no entanto, no caso de aços inoxidáveis é necessária uma deposição prévia de níquel (cfr cadmiagem).

Especificação

A mais utilizada para a cromagem é SAE AMS-QQ-C-320 a qual define um conjunto de classes, sendo as mais utilizadas:

Classe 1 – Espessura de crómio controlada, sem rectificação posterior.

Classe 2a – Espessura final de crómio obtida mediante rectificação - deve estar compreendida entre 50 a 200 microns.

Limitações

Os revestimentos de crómio duro não devem ser utilizados em peças cuja temperatura de serviço seja de superior a 450°C e em áreas onde ocorra a concentração de tensões.

CHROME PLATING

General

This type of plating is frequently used to protect the base metal against corrosion, wear as well as to improve heat resistance.

It allows also to recover original dimensions of worn parts.

The chrome plating must be applied directly on the bare material without any previous treatment, except in the case of stainless steel where nickel plating shall be applied before (see cadmium plating).

Specification

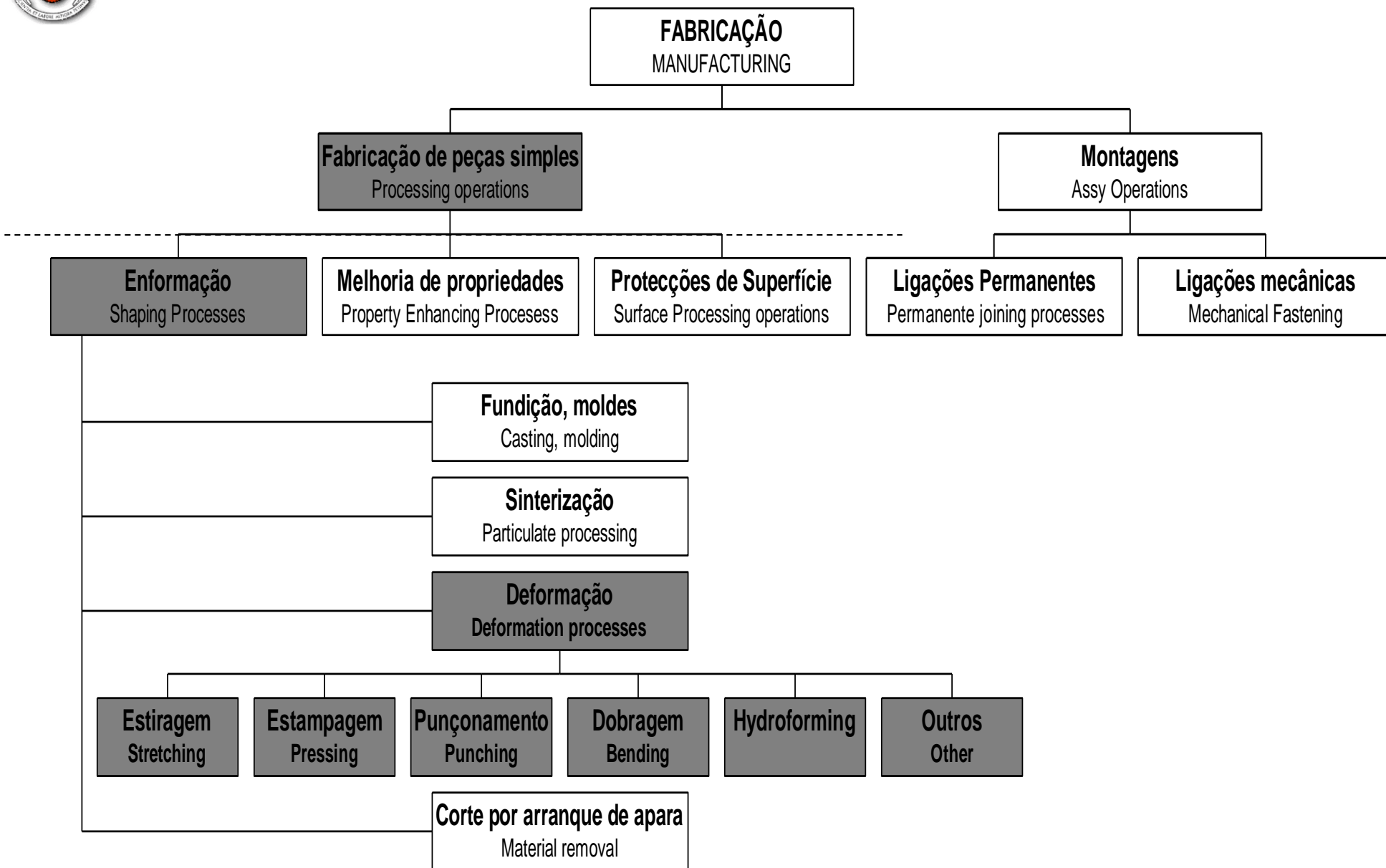
SAE AMS-QQ-C-320 is the most common spec which defines a set of classes, being the most used:

Class 1 – Chrome plating thickness without further grinding;

Class 2a – Final chrome plating thickness obtained by grinding. Limits [50-200] μ

Limitation

Chrome plating shall not be used in parts to be operated above 450°C or with high stress concentration.





PROCESSOS DE DEFORMAÇÃO DE CHAPA METÁLICA **METAL SHEET DEFORMATION PROCESSES**

Em aeronáutica os principais processos de deformação associados à fabricação de componentes metálicos para a feitura em chapa de fuselagem, portas, asas, fairings, nacelles, superfícies sustentação e de controlo (flaps, ailerons, lemes de direcção e de profundidade, etc) recorrem no essencial a :

- Dobragem;
- Estiragem;
- Estampagem.

A estes ainda se adiciona, *hydroforming* bem como deformação superplástica.

Dada a intensa utilização de elementos em chapa nas aeronaves, importa abordar a sua fabricação, designadamente, o processo de estiragem.

Realça-se que o processo de deformação é apenas parte de um ciclo de fabricação que envolve tratamentos térmicos, protecções de superfície e ainda a montagem final.

Esses processos são tratados individualmente, sendo a sua integração feita no processo global de industrialização.

In aeronautics the main processes related to the fabrication of sheet metal components used in fuselage elements, doors, wings, fairings, nacelles, control surfaces (flaps, ailerons, rudders, elevators, etc) include:

- Bending;
- Stretching;
- Drawing.

There are other processes, namely hydroforming and superplastic deformation part of the deformation technologies.

Given the intense use of sheet metal components in aircraft manufacturing it is essential to approach the stretching process as one of the most important among all.

It is important to emphasize the fact that stretching is only part of the global manufacturing cycle which also encompasses heat treatments, surface protections as well as final assy.

These processes are handled individually.



Estes processos de fabrico são completados por outros a que anteriormente já se aludiu sucintamente e que envolvem:

- Corte por arranque de aparas (rectificação, torneamento, fresagem, etc);
- Corte por arrombamento;
- Forjagem (a frio ou a quente);
- Hydroforming.

DA DOBRAGEM

Como o nome indica trata-se de um processo cujo propósito é deformar um material/peça em torno de um eixo.

Durante o processo de deformação a parte externa na peça é sujeita a tensões de tracção enquanto a parte interna é sujeita a tensões de compressão.

A dobragem produz pouca ou nenhuma redução da espessura da peça.

Existem 2 tipos de dobragem, a saber, em:

- V (centrada);
- e a com apoio/encastrada (descentrada).

These type of manufacturing processes are completed by others, which have already been briefly mentioned, that include:

- material removal (grinding, turning and milling);
- blanking;
- casting;
- Hydroforming.

BENDING

As the name indicates it is a process whose objective is to deform a part around a predefined axis .

During the deformation process the external part of the part is stretched while the internal part is compressed.

Bending produced little or no change in the thickness of the metal.

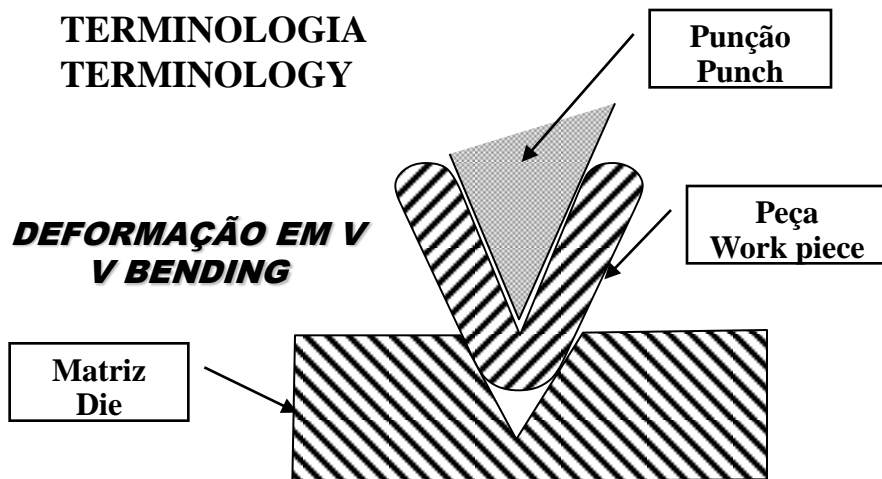
There are 2 types of bending:

- V bending;
- Edged bending.

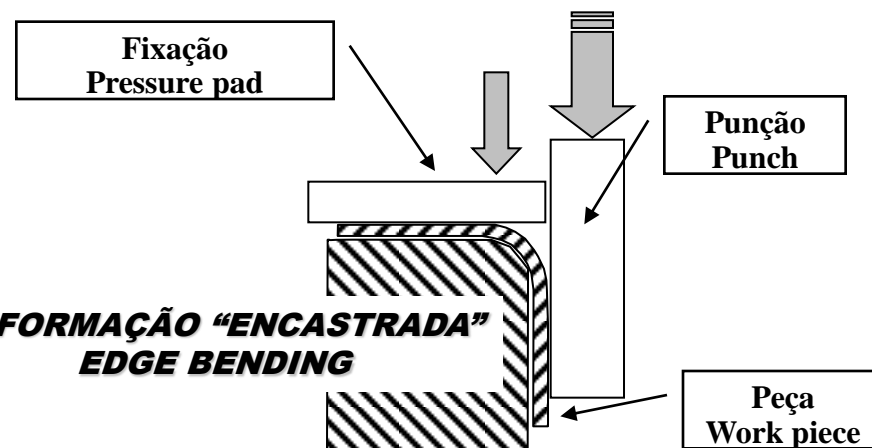


TERMINOLOGIA
TERMINOLOGY

DEFORMAÇÃO EM V
V BENDING



DEFORMAÇÃO "ENCASTRADA"
EDGE BENDING





ANÁLISE DO PROCESSO DE DOBRAGEM **BENDING ANALYSIS**

A metodologia de análise do processo de dobragem envolve a determinação de 3 aspectos:

- TOLERÂNCIA DE DOBRAGEM**
- EFEITO DE MOLA;**
- FORÇA DE DOBRAGEM**

Seguidamente, apresenta-se cada um dos aspectos acima referidos.

TOLERÂNCIA DE DOBRAGEM

A tolerância de dobragem permite determinar o comprimento final do eixo neutro (1) o qual está relacionado com o alongamento da peça dobrada, pois na prática corresponde a deformação (a qual poderá levar a operações adicionais de corte para garantir que a peça se mantém dentro das especificações).

(1) Ver esquema página seguinte.

The methodology related to the bending analysis includes determination of 3 aspects, that is,

- BENDING ALLOWANCE;**
- SPRINGBACK EFFECT.**
- BENDING FORCE.**

The following paragraph describes each of these aspects.

BENDING ALLOWANCE

The bending allowance permits to estimate the amount of stretch (if any) of the bended part. The problem is to determine the length of the neutral axis (1) before bending to account for stretching of the final bent section – this is essential to determine whether or not the deformed part will require additional operations to ensure part will meet the specified dimension.

(1) See figure in the next page.

A determinação da tolerância de dobragem (BA) é feita de acordo com a fórmula [1], em que:

BA=Tolerância de dobragem

A = ângulo de dobragem (graus)

R = raio de dobragem em mm

The Bending Allowance (BA) is made in accordance with formula [1], where:

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba} t) \quad [1]$$

$$K_{ba} = \begin{cases} R < 2t \rightarrow K_{ba} = 0,33 \\ R \geq 2t \rightarrow K_{ba} = 0,5 \end{cases}$$

BA = Bending Allowance

A = Bending angle (degrees)

R = Bending radius [mm]

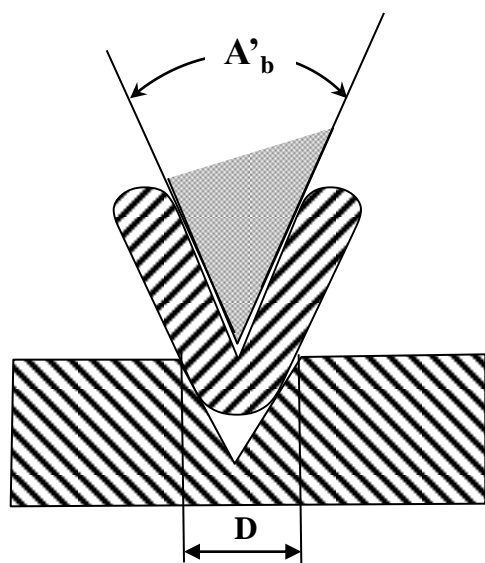


Fig 1

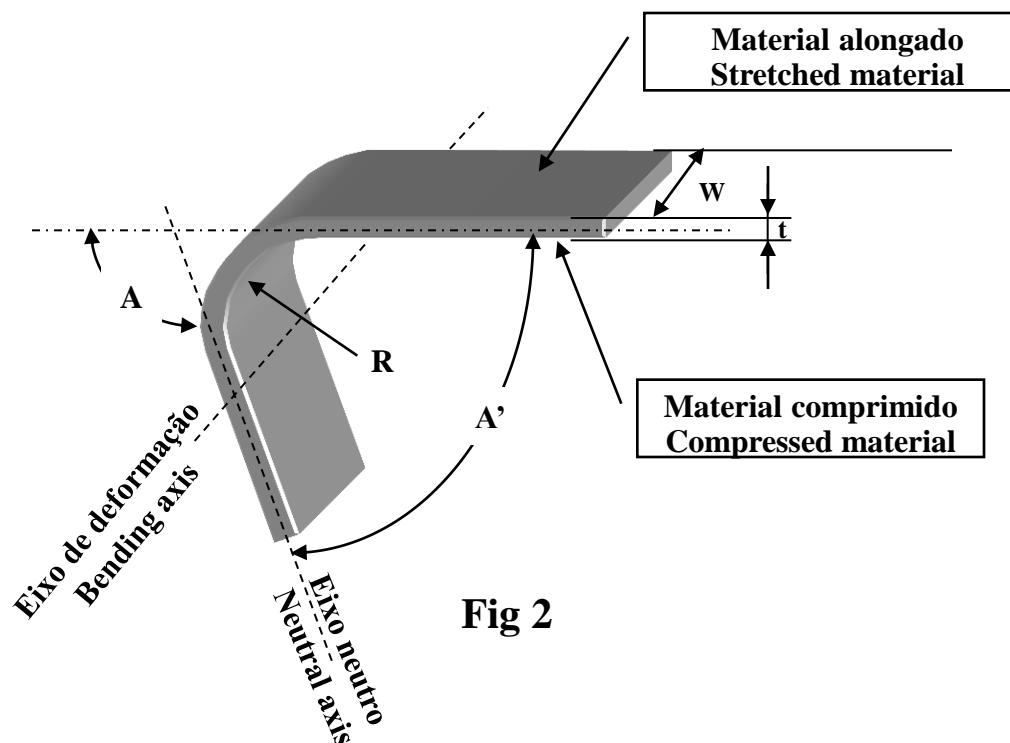


Fig 2

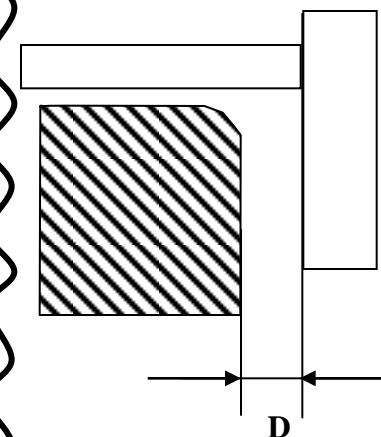


Fig 3

EFEITO DE MOLA (SB)

O seu valor é dado por [2], em que

- A' é o ângulo da peça (cfr figura anterior);
- A'_b é o ângulo da ferramenta.

Compensação pelo efeito de mola pode ser conseguido fazendo “overbending” ou por “bottoming”, isto é, por aumento de dobragem ou por achatamento da peça (zona de dobragem), respectivamente.

FORÇA DE DOBRAGEM (F)

A força de dobragem (F) é dada por [3] em que:

- K_{bf} é dado por [3.1];
- TS é a tensão de rotura MPa/(lb/in²).
- D (cfr fig 3 e 4) em mm/in;
- w, t (cfr fig 2) em mm/in.

$$[3.1] \quad K_{bf} = \begin{cases} K_{bf} = 1,33 & : \text{Dobragem em V/V bending} \\ K_{ba} = 0,33 & : \text{Dobragem encastrada/Edge bending} \end{cases}$$

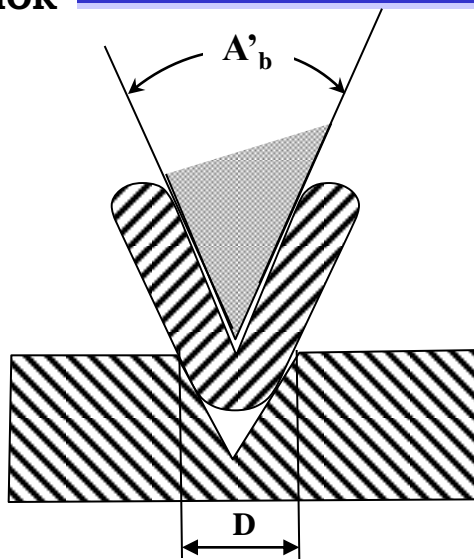


Fig 4

SPRINGBACK EFFECT (SB)

Its value is given by [2], where

- A' is the angle of the part (cfr previous figure);
- A'_b is the angle of the tool (punch).

Compensation due to springback effect can be done by “overbending” or by “bottoming”, that, increasing the bending or squeezing the part.

BENDING FORCE (F)

The bending force (F) is given by [3], where

- K_{bf} is given by [3.1];
- TS Tensile strenght MPa/(lb/in²).;
- D (cfr fig 3 and 4) in mm/in;
- w, t (cfr fig 2) in mm/in.



EXERCÍCIO- EXERCISE

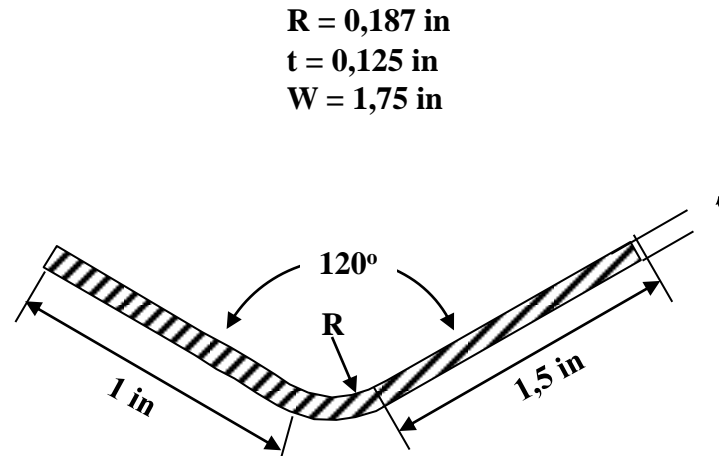
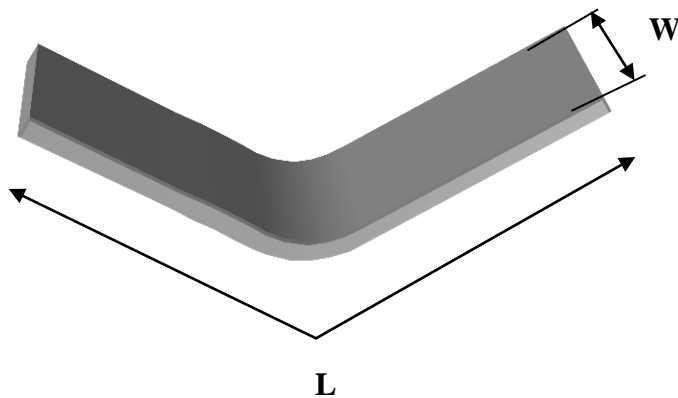
Uma peça em metal deverá ser quinada. O material tem uma tensão de rotura de 65 K Lb/in^2 .
Para a peça a quinar determinar:

- o comprimento L da peça a dobrar;
- a Força a aplicar para uma dobragem em V , sabendo que a abertura (D) da ferramenta é 1 in .

A sheet metal part is to be bent. The material has a tensile strenght of 65 K Lb/in^2 .

For the part to be bent, determine:

- the lenght of the L to be bent
- the strenght force for a V bending, with opening $D = 1 \text{ in}$.



Peça a quinar – Part to be bent



SOLUÇÃO – SOLUTION

Fórmulas-Formulae

$$K_{ba} = \begin{cases} R < 2t \rightarrow K_{ba} = 0,33 \\ R \geq 2t \rightarrow K_{ba} = 0,5 \end{cases}$$

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba} t)$$

$$F = \frac{K_{bf} T S w t^2}{D}$$

$$K_{bf} = \begin{cases} K_{bf} = 1,33 & : \text{Dobragem em V/V bending} \\ K_{ba} = 0,33 & : \text{Dobragem encastrada/Edge bending} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} R &= 0,187 \text{ in} \\ t &= 0,125 \text{ in} \\ R/t &= 1,5 < 2 \Rightarrow K_{ba} = 0,33 \end{aligned}$$

$$A = 120^\circ$$

$$A + A' = 360^\circ \Leftrightarrow A = 360^\circ - 120^\circ \Leftrightarrow A = 60^\circ$$

$$BA = 2\pi \frac{60}{360} (0,187 + 0,33 \times 0,125) = 0,239 \text{ in}$$

$$L = 1 + 1,5 + 0,239$$

$$L = 2,739 \text{ in}$$

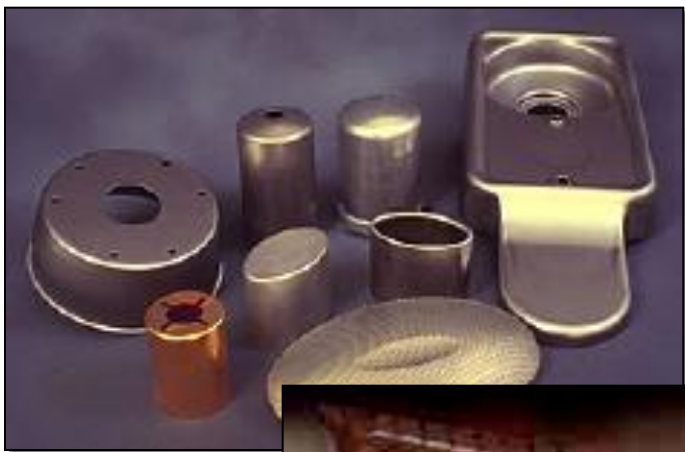
$$F = \frac{1,33 \times 65000 \times 1,75 \times 0,125^2}{1} = 2.364 \text{ Lb}$$



ESTAMPAGEM - DRAWING

A estampagem é um processo de enformação através do qual a forma do material é alterada por modo a obter geometrias do tipo às que se exibem nas figuras abaixo. Para tanto usa-se um elemento gerador de pressão o qual pressiona uma chapa contra uma matriz que dará a forma (final ou não pretendida).

The drawing is an enformation process which allows to obtain complex parts similar to those exhibited in the next figures. To obtain such form a element that generates pressures is used on a sheet metal which is pressed against a die, thus obtaining the (final or not) shape.



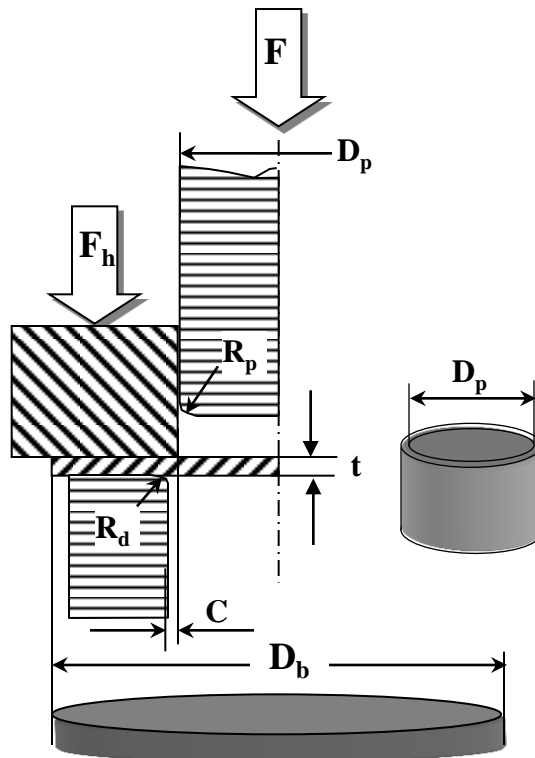
ANÁLISE DO PROCESSO DE ESTAMPAGEM DRAWING ANALYSIS

Razão de estampagem (DR)

Embora a estampagem dependa de factores como o atrito, lubrificação, raios da matriz, etc, pode considerar-se $DR \leq 2$ como o limite superior para que a estampagem se possa realizar com sucesso.

Ou se se quiser em termos da diminuição “r” $\leq 0,5$.

Um outro modo de limitar a estampagem é a razão entre a espessura “t” e “D_b”, (t/ D_b) cuja razão desejavelmente deve ser superior a 1%



Drawing ratio (DR)

Notwithstanding the fact drawing operation depends upon friction, lubricant, die radius, etc, one may consider $DR \leq 2$ as the upper limit to draw with success.

Or in terms of “r” it should not exceed 0,5

Another way of determining drawing limits is through the ratio between “t” and “D_b”, (t/ D_b) whose value should be higher than 1%.

Fig 5

$$DR = \frac{D_b}{D_p} \leq 2 \qquad r = \frac{D_b - D_p}{D_p} \leq 0,5$$



No que concerne à força de estampagem (F), o seu valor pode ser dado por [1], em que

- TS é a tensão de rotura em Lb/in² ou MPa
- D_p e D_b é e, in/mm

In what concerns the drawing force (F), its value can be given by using [1], where

- TS is the Tensile Strenght in Lb/in² or MPa
- D_p e D_b in in/mm

$$F = \pi \times D_p \times t \times (TS) \times \left(\frac{D_b}{D_p} - 0,7 \right)$$

[1]

Um elemento importante é o cálculo da força de fixação F_h cujo valor pode ser dado por [2]

Also an important element is the holding force (F_h) which value can be given by [2]

$$F_h = 0,015 \times Y \times \pi \times \left[D_b^2 - (D_p + 2 \times t + 2R_d)^2 \right]$$

[2]

Em que :

Y é a tensão de cedência do material in lb/in² or MPa
D_b, D_p, R_d são dados na figura 5 (previous page).

Where :

Y is the yield strenght in lb/in² or Mpa
D_b, D_p, R_d and t are given in figure 5 (previous page).



EXERCÍCIO- EXERCISE

Uma peça em metal deverá ser estampada para formar um pequeno reservatório cilíndrico (corpo de filtro). Tem como dados de projecto:

A part is to be submitted to a drawing process to form a cylindrical element (filter body). The project data is:

- diâmetro interno/internal diameter = 3 in;
- Altura/height = 2 in
- comprimento da peça a estampar/leng of blank = 5.5 in
- espessura da peça/thickness = 3/32 in
- Tensão de rotura/tensile strenght = 70.000 Lb/in²
- Tensão de cedência/yield strenght = 40.000 Lb/in²
- Raio da matriz = 0,25 in

Determinar:

- a) viabilidade da operação de estampagem/Feasibility of operation;
- b) Força de estampagem/Force of drawing
- c) Força de fixação/Holding Force.

Solução-solution:

- a) Determina-se se o processo satisfaz os critérios de DR, r e t/D_b
- b) Determination is the process meets DR, r and t/D_p criteria.

$$DR = \frac{5.5}{3} = 1,853 \leq 2$$

$$r = \frac{5.5 - 3}{5.5} = 0,454 \leq 0,5$$

$$\frac{t}{D_b} = \frac{3/32}{5.5} = 0,017 \geq 0,01$$



b) Cálculo da Força de Estampagem (F)

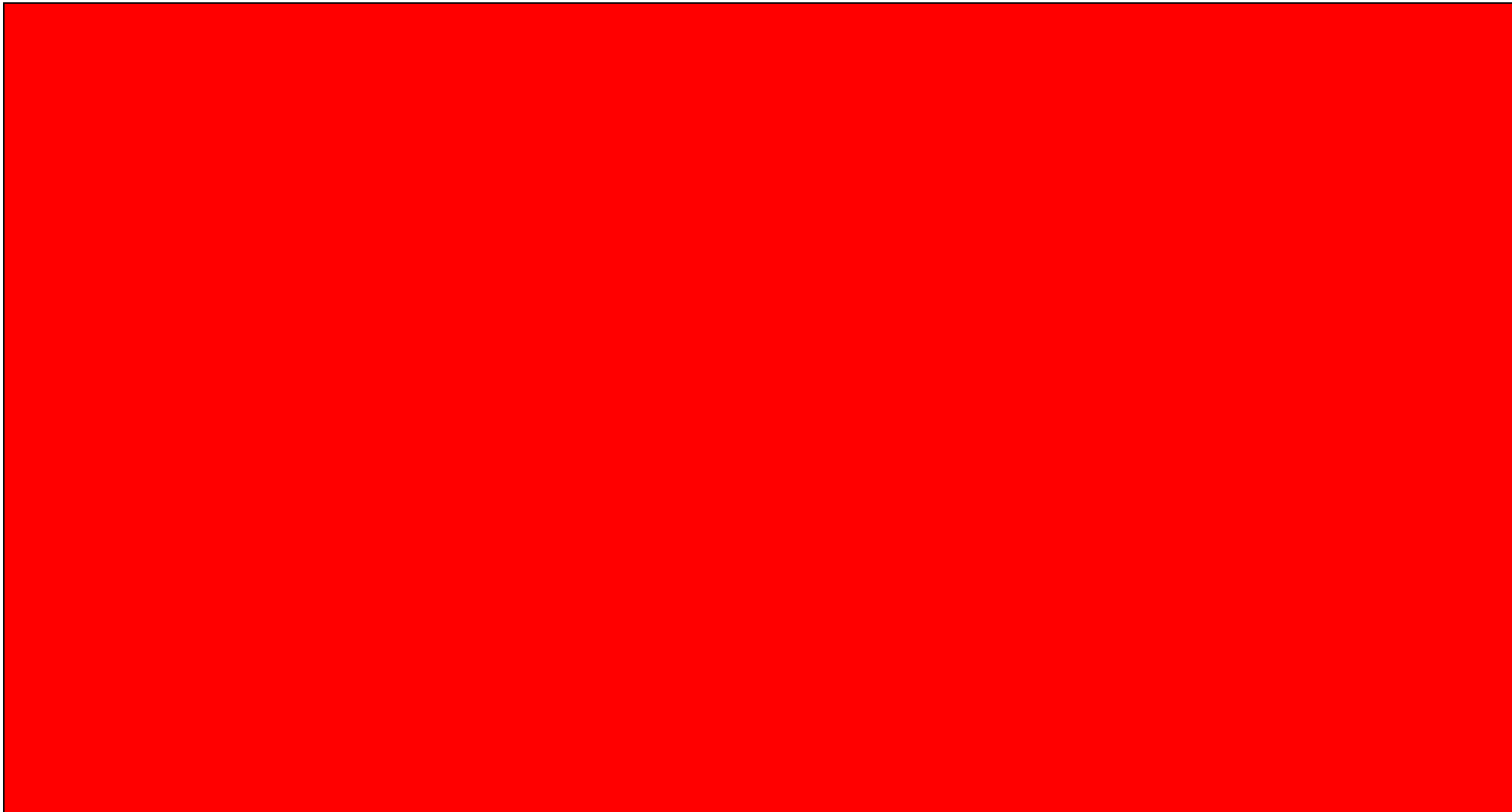
Calculation of the drawing force

$$F = \pi \times 3 \times (3 / 32) \times (70.000) \times \left(\frac{5.5}{3} - 0,7 \right) = 70.097 \text{lb}$$

c) Cálculo da Força de Fixação (F_h)

Calculation of the holding force

$$F_h = 0,015 \times 40.000 \times \pi \times \left[5.5^2 - \left(3 + 2 \times \frac{3}{32} + 2 \times 0,25 \right)^2 \right] = 31.121 \text{Lb}$$



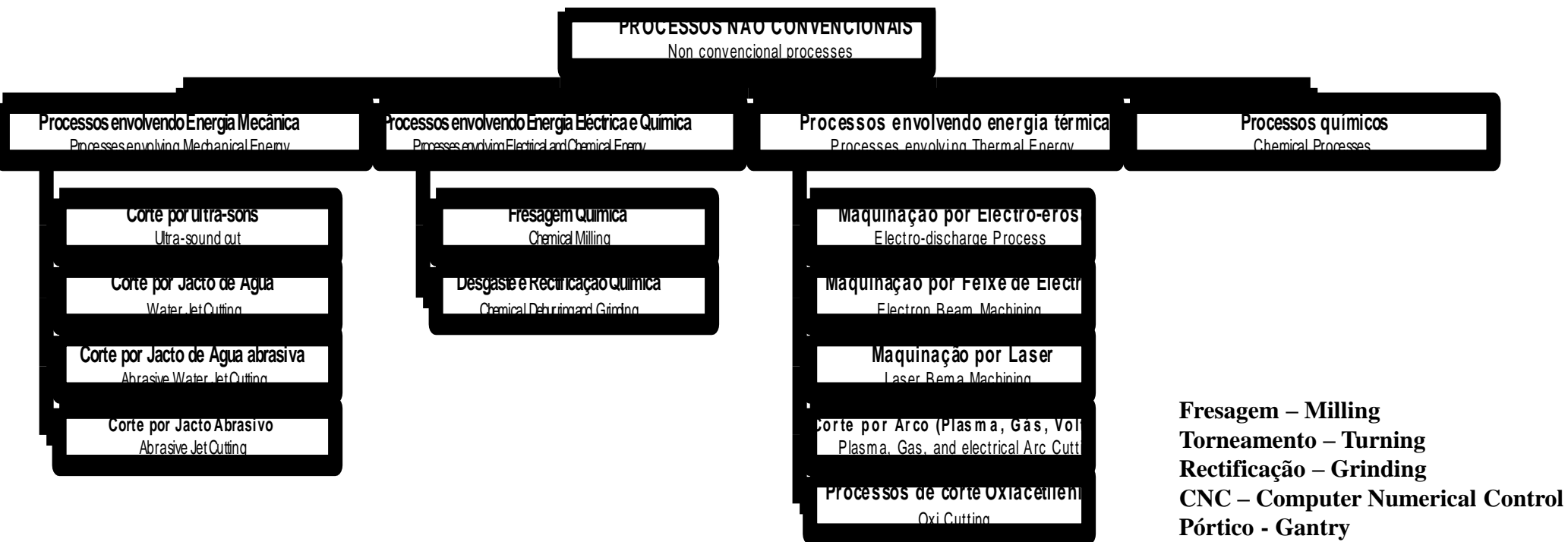


PROCESSOS NÃO CONVENCIONAIS

Non-conventional

Consideram-se processos não-convencionais uma vez que envolve maquinaria sem recorrer à ferramenta de corte – na perspectiva tradicional . Envolvem no essencial o uso individualizado ou combinado de energia mecânica, eléctrica, térmica e química para realizar as operações de fabricação.

A group of processes called non-conventional is considered due to the fact machining is performed without using the standard cutting tool – traditional perspective. Such processes include individual or combined use of mechanical, electrical, thermal and chemical energies to carry the manufacturing activities.





PROCESSOS ENVOLVENDO ENERGIA MECÂNICA

Processes using Mechanical Energy

Neste grupo tecnológico incluem-se a(o):

This technological group includes:

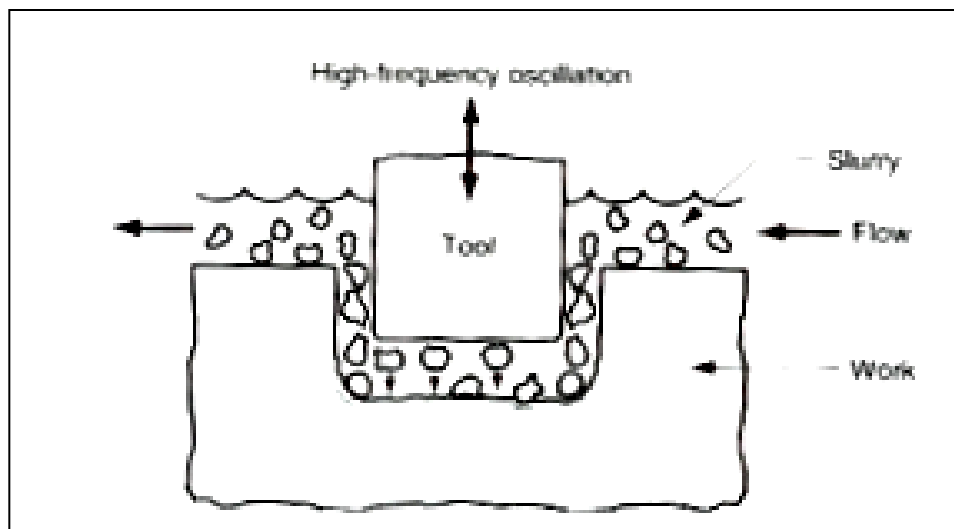
- Maquinação ultrasónica/Ultrasonic Machining
- Corte por ultrasons/ Ultrasound cutting (USC);
- Corte por jacto de água/Water jet Cutting (WJC);
- Corte por jacto de água com abrasivo/Abrasive Water Jet Cutting;
- Corte por jacto abrasivo/Abrasive Jet

MAQUINAÇÃO ULTRASÓNICA/Ultrasonic Machining

USM é um processo através do qual, material abrasivo por acção de uma ferramenta que vibra a baixa amplitude (0,08 mm) e elevada frequência (20 KHz), provoca o desgaste na superfície de um material para assim se obter a forma desejada.

USM is a process in which abrasives contained in a slurry are driven at high velocity against the work material by a tool vibrating at low amplitude of around 0,08 mm and high frequency 20 KHz. The tool oscillates in a direction perpendicular to work surface and is fed slowly into the work forming with the action of the abrasives thus machining the part with the desired shape.

MAQUINAÇÃO ULTRASÓNICA/Ultrasonic Machining



Mecanismo geral e equipamento típico
General mechanism and typical equipment

Este tipo de processo usa-se no corte de aços bem como de material cerâmico, vidro, titânio e ainda tecidos.
It is used to cut steel, ceramics, glass, titanium and textiles.

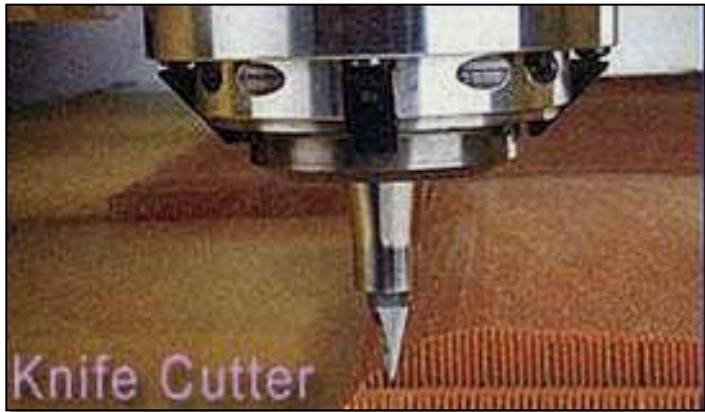
O fluido abrasivo é formado por uma mistura de água que pode combinar com boro (carboneto e nitrato), óxidos de alumínio, carbonetos de silício e diamante.

The slurry consists of a mixture of water and abrasive particles (20-60%) such as boron nitride, boron carbide, aluminum oxide, silicon carbide and diamond.

CORTE ULTRASÓNICO/Ultrasonic Cutting (USC)

Tal como na maquinação ultrasónica, neste processo também se usa ferramenta que vibrando a frequências elevadas provoca o corte de material. Usa-se, entre outros aspectos, para cortar “tecidos” que compõe a fabricação de materiais aeronáuticos.

As in the USM, this process uses a tool that vibrates at high frequencies to cut the material. Among others, it is used to cut “textiles” in the manufacturing process of composite materials in aeronautics.



Aspecto geral da faca de corte (actuando sobre “ninho de abelha”) e equipamento típico
Kniff cutter aspect (cutting honeycomb) and typical equipment

As unidades de corte por ultra-sons normalmente requerem programação CNC.
The USC normally requires CNC programming of machines.

PROCESSOS USANDO ÁGUA E ABRASIVOS /Processes using water and abrasives



wjcutting[1].mov

Neste grupo tecnológico incluem-se por:
This technological group includes:

- Corte por jacto de água/Water jet Cutting (WJC);
- Corte por jacto de água com abrasivo/Abrasive Water Jet Cutting;
- Corte por jacto abrasivo/Abrasive Jet

Corte por jacto de água/Water Jet Cutting (WJC)

Neste processo usa-se um jacto fino de água, com pressão elevada e velocidade, o qual é dirigido para a superfície de trabalho permitindo o corte – cfr figura.

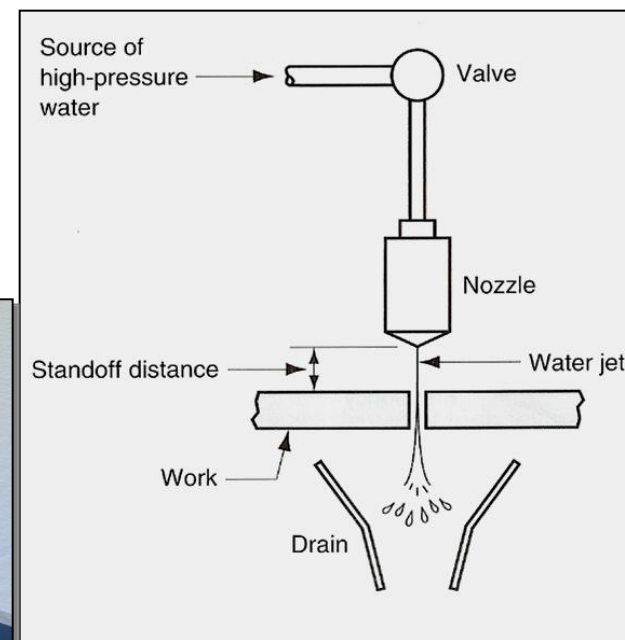
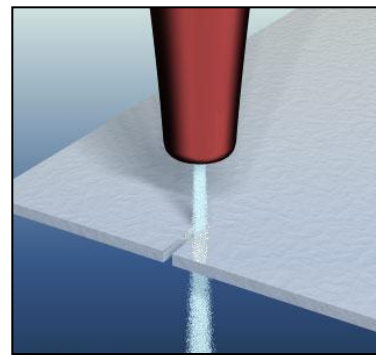
This process uses a fine, high-pressure, high velocity stream of water directed at the surface of the material to cause cutting of the work, as in the picture.

Os valores tipo da instalação de trabalho são:
The typical instalation parameters are:

Diâmetro de bucal/Nozzle diameter 0,1 –0,4 mm

Pressão/Pressure = 600 Mpa

Velocidade de escoamento/Flow Velocity = 900 m/s



Corte por jacto de água/Water Jet Cutting (WJC)

Na aeronáutica as instalações de corte por jacto de água são relativamente grandes, como se observa nas figuras.
In aeronautics the WJC installations are normally with a relative size, as depicted in the pictures.



**Instalações tipo de corte por jacto de água
WJC typical instalations**

O corte por jacto de água pode ser usado (excepto vidro) no corte de plásticos, compósitos (aplicações aeronáuticas)
WJC can be used (except in glass) to cut plastics and composite materials.

Corte por jacto de água abrasivo/Abrasive Water Jet Cutting (AWJC)

Trata-se de uma variante do corte por jacto de água (CJA) adicionando para o efeito material abrasivo que permita o corte de materiais metálicos. Os materiais abrasivos são normalmente, óxidos de alumínio, dióxido de sílica. O material abrasivo é normalmente adicionado à saída do escoamento de água.

Os parâmetros de funcionamento são idênticos ao CJA, designadamente a pressão.

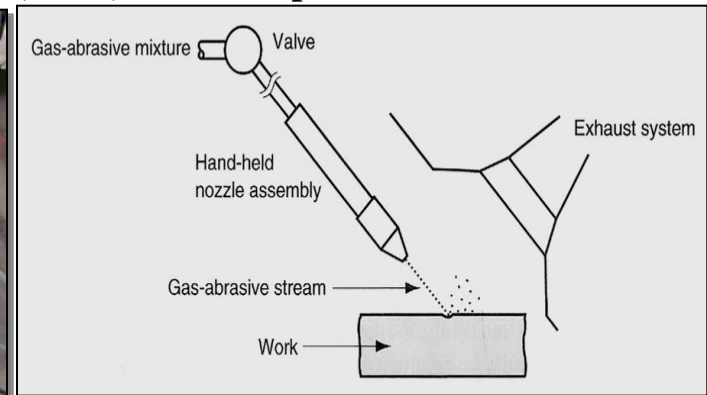
It is a process similar to WJC now with the addition of abrasive materials, such as aluminium oxide and silicon dioxide, which are normally added at the exit of the water stream. The functioning parameters are similar to those of WJC, namely, the pressure.

Corte por jacto abrasivo/Abrasive Jet Cutting (AJC)

Este processo inclui a projecção de material abrasivo do tipo similar a CJA, recorrendo para isso a um gás podendo ser ar seco, azoto, CO₂ ou hélio. Usa-se normalmente, remover rebarba, acertos de cotas, limpar e polir. Os parâmetros típicos da instalação são:

The process includes the projection of abrasive material (similar to AWJC) using a gas as the media, which can be dry air, nitrogen, carbon dioxide and helium. AJC is normally used to debur, trim, clean and polish. The installation parameters are typically

- Pressão de gás/Gas pressure: 0,2-1,4 MPa
- Velocidade do gás/Gas velocity: 2,5-5 m/s,



PROCESSOS ENVOLVENDO ENERGIA ELECTROQUÍMICA

Processes using Electrochemical Energy

Neste grupo tecnológico incluem os seguintes processos:

This group of non-conventional processes include:

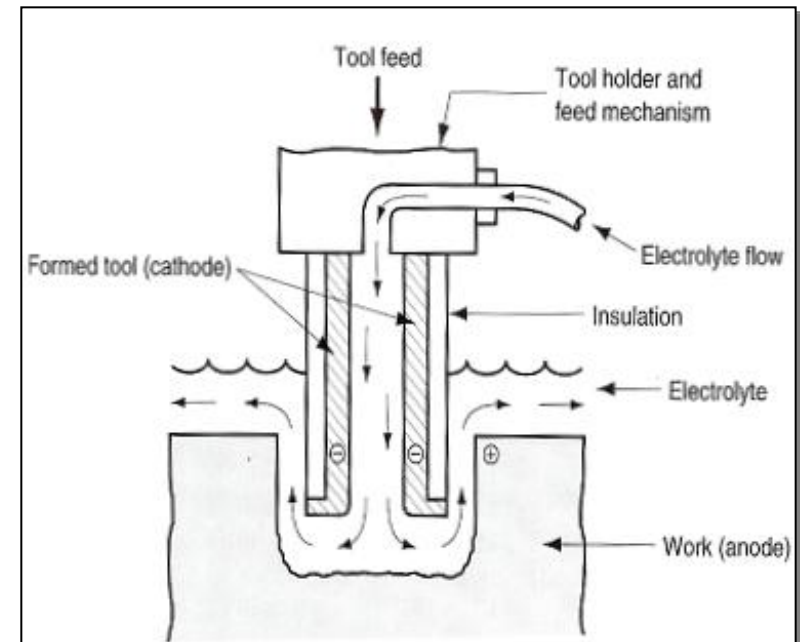
- Maquinação electroquímica (MEQ);
Electrochemical machining (ECM);
- Desbaste e rectificação electroquímica;
Electrochemical Deburring and Grinding;

Maquinação Electroquímica/ Electrochemical machining

A MEQ é um processo que inclui a remoção de material através da dissolução anódica, na qual a forma final de uma peça (feita de material electricamente condutor) é obtida à custa de uma ferramenta (eléctrodo-cátodo) que actua na proximidade.

O material removido (ânodo) que se deveria depositar no cátodo é disso impedido pelo fluido electrólito, à base de água e de sais (e.g., NaCl) – ver figura.

The ECM removes metal from an electrically conductive workpiece by anodic dissolution, in which the shape of the workpiece by a formed electrode tool in close proximity to, but separated from, the work by a rapidly flowing electrolyte, having water as the basis with salts (e.g., NaCl) – see figure.



Maquinação Electroquímica/ Electrochemical machining

O regime de remoção de material é determinado pela Lei de Faraday, cuja fórmula a adoptar é a seguinte:

The removal rate in ECM is governed by the Faraday's Law, being the formula to adopt the following:

Em que/where :

C = Specific removal rate (cm³/A-s)

Specific removal rate (cm³/A-s)

E = Tensão (V)

Voltage (V)

A = Área transversal do eléctrodo (cm²)

Electrode front area (cm²)

t = Tempo de maquinação (s)

Machining/operation time (s)

g = Folga entre cátodo e ânodo (peça e ferramenta) (cm)

Gap between electrode and anode (cm)

r = Resistividade do eléctrodo (Ω-cm)

Electrode resistivity (Ω-cm).

θ = Eficiência da remoção

$$V = \frac{C \times E \times A \times t}{g \times r}$$

No que concerne à velocidade de avanço de ECM (feed rate) , é equação é:

The feed rate of the ECM process is then given by,

Em que/where

I = Intensidade da corrente (A)

Current Intensity (A)

θ = Efficiency of removal

$$f_r = \frac{C \times I}{A} \times \theta$$



Instalações tipo de ECM
WJC typical installations



Maquinação Electroquímica/ Electrochemical machining

Os valores a adoptar para C são os definidos na tabela 1.

Typical values of specific removal rate in ECM are defined in table 1

Exemplo/example

Pretende-se realizar um furo de passagem numa chapa de alumínio com ½ “ de espessura. A área do furo é de 0,375 x 1,25 in², com uma eficiência de 95% e com uma corrente de 1200 A. Determinar a velocidade de avanço e tempo de operação.

An ECM is used to cut a hole in an aluminum plate with ½” thickness. The area of the hole is 0,375 x 1,25 in². The ECM efficiency of the operation is expected to be 95% at 1200A of the current intensity. Determine the feed rate and time to cut the plate.

Resolution:

C, from table 1, 1,26x10⁻⁴;

A = 0,375 x 1,25 in² = 0,469 in²

$$f_r = \frac{0,000126 \times 1200}{0,469} \times 0,95 = 0,306 \text{ in / min}$$

$$T_m = \frac{0,50}{0,306} = 1,63 \text{ min}$$

Work Material	Specific Removal Rate C	
	in. ³ /A-min	(cm ³ /A-s)
Aluminum	1.26 × 10 ⁻⁴	(3.44 × 10 ⁻⁵)
Copper	2.69 × 10 ⁻⁴	(7.35 × 10 ⁻⁵)
Iron	1.35 × 10 ⁻⁴	(3.69 × 10 ⁻⁵)
Steels		
Low alloy	1.1 × 10 ⁻⁴	(3.0 × 10 ⁻⁵)
High alloy	1.0 × 10 ⁻⁴	(2.73 × 10 ⁻⁵)
Stainless	0.9 × 10 ⁻⁴	(2.46 × 10 ⁻⁵)
Nickel	1.25 × 10 ⁻⁴	(3.42 × 10 ⁻⁵)
Titanium	1.0 × 10 ⁻⁴	(2.73 × 10 ⁻⁵)

Tabela 1 – Valores típicos de C

Table 1 – Typical values of C

Maquinação ECM é geralmente usadas em aplicações onde o metal tem elevada dureza ou de difícil maquinação, uma vez que a dureza do material não interfere no processo, o qual não assenta em processos mecânicos convencionais.

Electrochemical machining is generally used in applications where the work metal is very hard or difficult to machine, as part hardness makes no difference to ECM, because removal of material is not mechanical.

Rectificação e remoção de rebarba Electroquímica

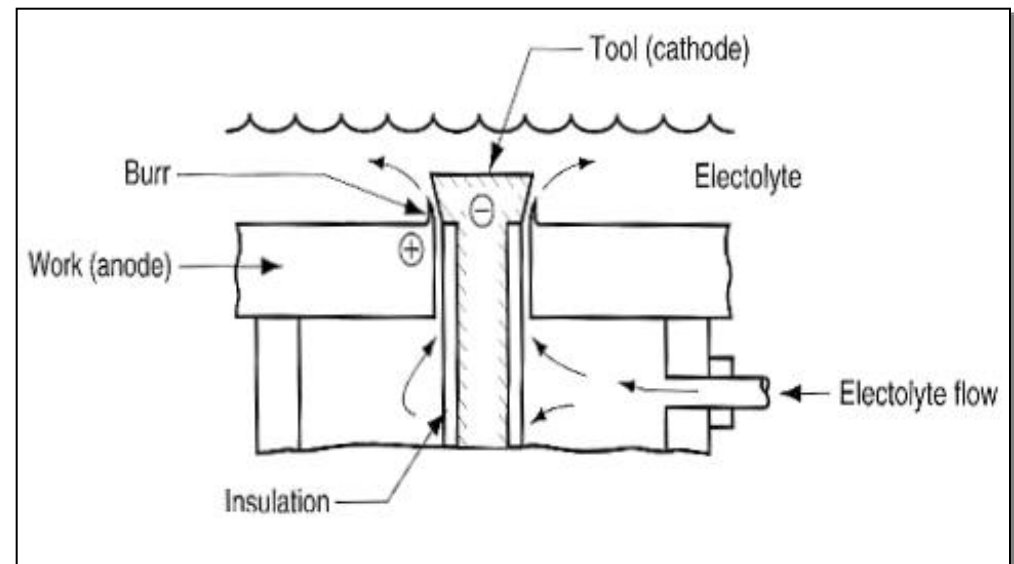
Electrochemical deburring & grinding

Remoção de rebarba

Deburring

Este tipo de maquinação é uma adaptação de ECM para remover rebarba, rectificar superfícies, etc recorrendo a dissolução anódica. Um esquema possível de instalação para este tipo de ECM é mostrado na figura abaixo.

This type of operation is an adaptation of the ECM process to remover burrs or to round sharp corners by anodic dissolution. A possible scheme of the installation is shown in next picture.



Rectificação electroquímica/Electrochemical grinding

Processo ECM que consiste na utilização rotativa mó feita de material condutor e que por dissolução anódica permite remover material (ânodo) é utilizada para realizar a Um esquema possível de instalação para este tipo de ECM é mostrado na figura abaixo.

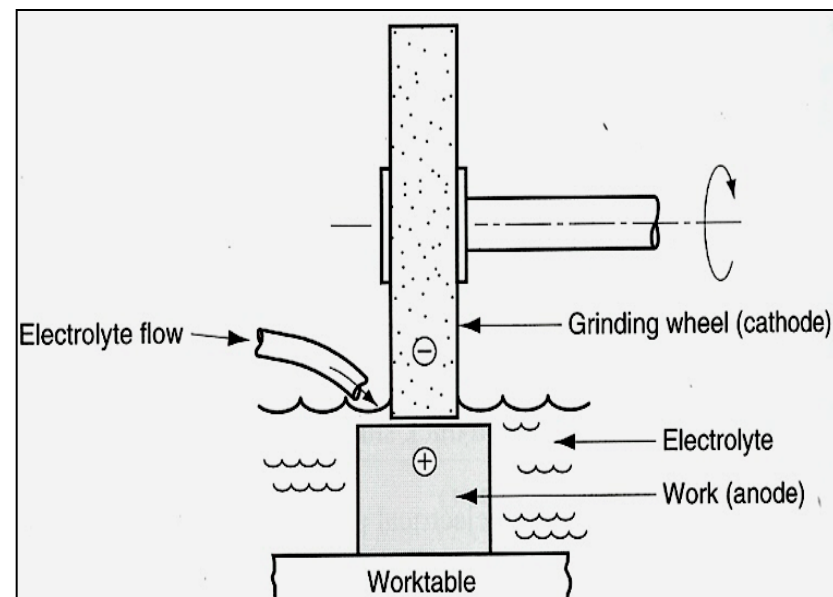
This type of operation is an adaptation of the ECM process to remover burrs or to round sharp corners by anodic dissolution. A possible scheme of the instalation is shown in next picture.

A mó rotativa é normalmente feita de óxidos de alumínio e diamante. O material de ligação na mó tanto pode ser metálico (para abrasivos à base de diamante) como resinas impregnadas com partículas metálicas para assegurar a condutibilidade eléctrica.

O líquido electrólito permite escoar o material removido evitando deposição no cátodo.

Na rectificação electroquímica a remoção química (deplating) é responsável por mais de 95% enquanto a mó somente remove o remanescente.

The abrasives of the grinding wheel are mainly made of aluminium oxide. The bond material is either metallic (for diamonds abrasives) or resin bond impregnated with metal particles to make the grinding wheel conductive (for aluminium oxide). The electrolyte stream avoids metal deposition on the cathode. Deplating is responsible for more then 95% of the removal process while 5% or less represents removal using the grinding wheel.





PROCESSOS ENVOLVENDO ENERGIA TÉRMICA

Processes using Thermal Energy

Processos de remoção de material que envolvam energia térmica caracterizam-se por apresentar temperaturas elevadas na zona de remoção, suficientemente elevadas que levam à fusão ou vaporização local do material. Dadas as temperaturas elevadas, este tipo de processos causa dano físico e metalúrgico às peças, o que obriga a processamento adicional.

Os processos aqui abrangidos, apenas incidem sobre materiais electricamente condutores, são:

- maquinação por descarga eléctrica (electro-erosão);
- maquinação por descarga eléctrica por fio (electro-erosão por fio);
- maquinação por feixe de electrões;
- maquinação por feixe de laser;
- maquinação por arco de plasma;
- maquinação por processos térmicos convencionais.

Material removal processes based on thermal energy are characterized by very high local temperatures – hot enough to remove material by fusion or vaporisation. Because of this, these processes cause physical and metallurgical damage to the part, thus requiring to smooth the surface.

The processes included in this group, covering only electrically conductive materials, are:

- electric discharge machining;
- electric discharge wire cutting;
- electron beam machining;
- laser beam machining;
- plasma arc machining;
- Conventional cutting process.

Electro-erosão/Electric Discharge Machining

O processo de electro-erosão é um dos mais usados. A figura ao lado apresenta o esquema geral de uma instalação.

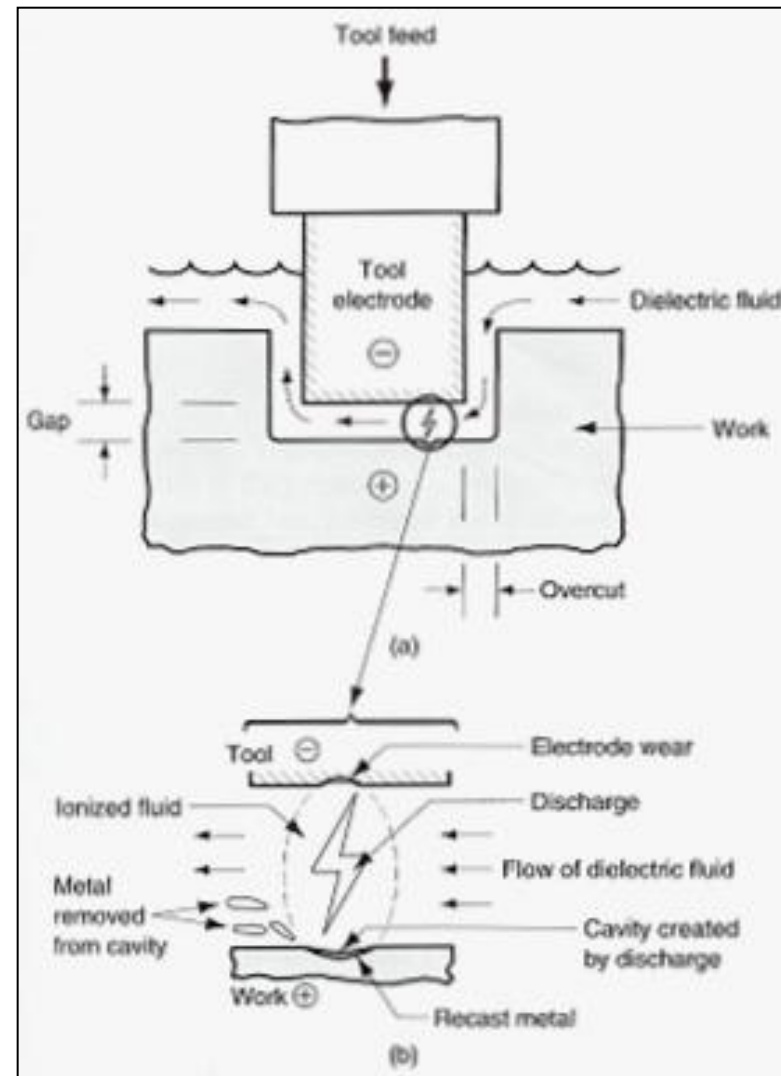
A forma pretendida é dada pela ferramenta (eléctrodo – cátodo), em que a descarga eléctrica ocorre num espaço reduzido, dado pela folga entre a peça a trabalhar (ânodo), na presença de um fluido dieléctrico, o qual, quando ionizado, permite criar uma zona (path), entre o cátodo e o ânodo onde a faísca tem lugar, tendo por base uma corrente eléctrica continua pulsada.

Na zona onde se dá a descarga a temperatura é extremamente elevada, de tal forma que o material na região funde e é removido sendo arrastado pelo fluido dieléctrico.

The EDM process is one of the most popular non-conventional processes. The figure exhibits the general configuration of the EDM set up.

The final shape is given by the tool (electrode-catode). The spark occurs in the gap between tool and workpiece in the presence of a dielectric fluid which, once ionized, creates a path between anode and catode. The spark is generated by a direct pulsed current.

The region in which discharge occurs is heated to extremely high temperatures so that material is melted and removed being dragged away by the dielectric fluid.



A foto ao lado apresenta o exemplo de um equipamento de electro-erosão. Neste tipo de tecnologia, onde os eléctrodos podem ser de grafite, cobre, os principais parâmetros são a intensidade da corrente e a frequência da descarga. O fluido dieléctrico é normalmente feito de óleos orgânicos, água destilada ou não ionizada.

A dureza dos materiais não é factor na electro-erosão.

A fórmula ao lado apresenta de modo empírico um método para calcular a razão de remoção de material (MRR).

The photo shows a typical equipment for EDM.

In this type of technology, where the electrodes can be made of graphite and copper, the main parameters are the intensity of the current and the frequency of the discharge. The dielectric fluid can be made of hydrocarbon oils, distilled or deionized water.

The materials hardness is not an EDM factor.

The following empirical formula allows to determine the Material Removal Rate (MRR):

$$MRR = \frac{KI}{T_m^{1.23}} \text{ in}^3 / \text{min} (\text{cm}^3 / \text{min})$$

K= 5,08 (US system) ou 39,86 SI

I = Intensidade da corrente/Current Intensity (Amp)

T_m= Temperatura de fusão/melting temperature °F(°C)

Material	Ponto de fusão Melting point	
	oF	oC
Al	1220	660
Cu	1981	1083
Fe	2802	1539
Pb	621	327
Mg	1202	650
Ni	2651	1455



Aspecto geral de uma unidade de electro-erosão
General aspect of an EDM unit



Exemplo de electro-erosão/EDM example

Uma determinada liga com um ponto de fusão de 660 oC é para ser maquinada com uma intensidade de corrente de 25 A. Qual é MRR.

A certain alloy whose melting point is 600 oC is to be EDM machined at 15 A. What is the expected MRR.

$$MRR = \frac{39,86 \times 25}{660^{1.23}} = 0,381 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

Electro-erosão é usada para fabricação de ferramentas e de de peças, incluindo moldes, matrizes de extrusão, etc. Também se aplica em actividades de manutenção de peças de motor, designadamente proceder a furação.

EDM is used to manufacture tooling and parts, including molds, extrusion dies. EDM can also be used for maintenance work, namely in engines to carry on specific hole drilling.

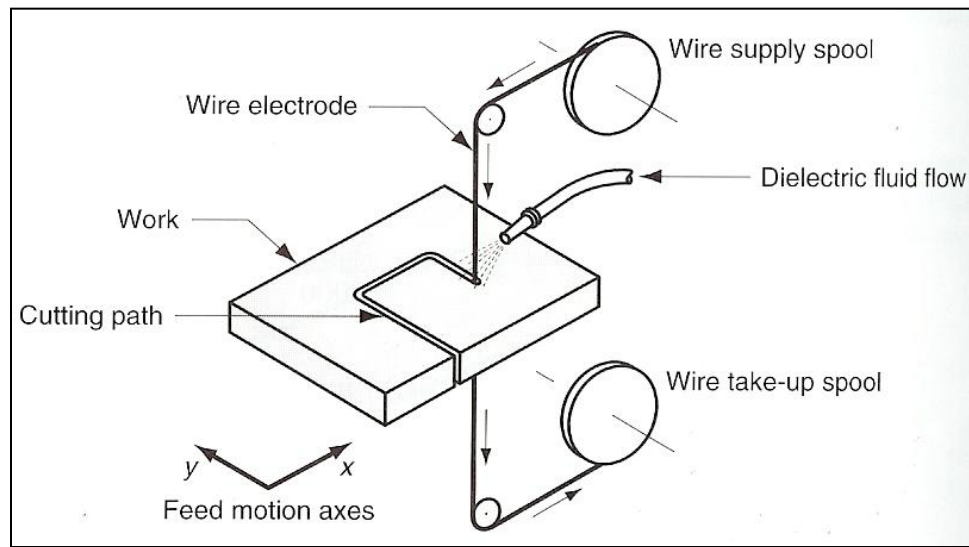
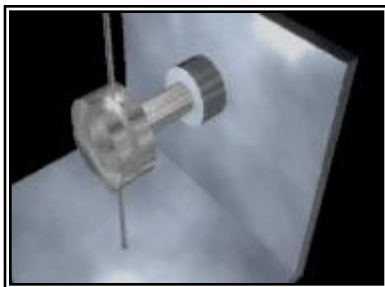
Corte por electro-erosão (fio)/Electric Discharge Wire Cutting

Este tipo de electro-erosão recorre ao uso de um fio de reduzido diâmetro para cortar peças. O fenómeno de corte é conseguido de forma semelhante à electro-erosão convencional.

This type of EDM uses small-diameter wire as the electrode to cut materials. The cutting mechanism is similar to EDM conventional.

As figuras ao lado apresentam o esquema tipo electro-erosão por fio e um modelo de equipamento comercial.

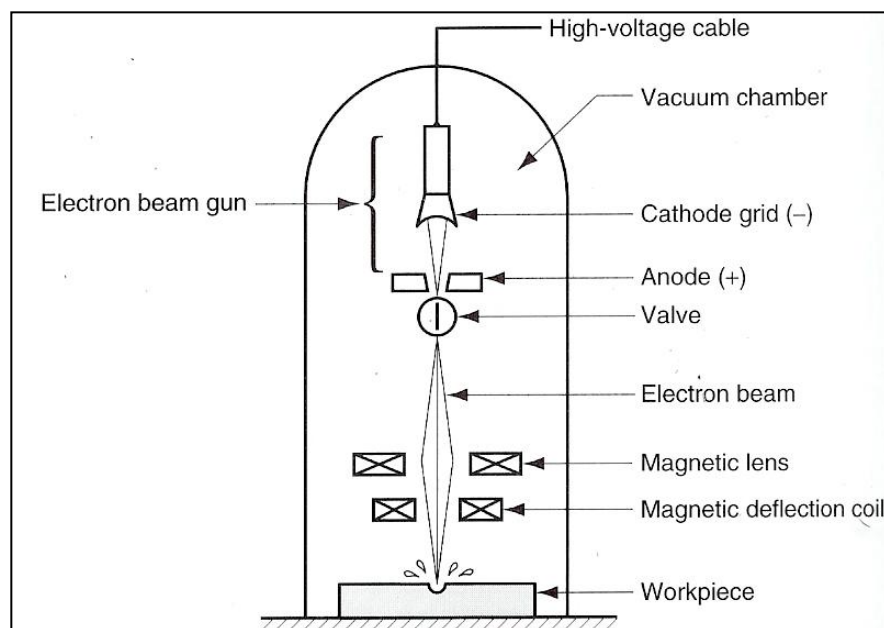
The pictures represent the typical mechanism associated to EDWC and an example of a commercial equipment.



Maquinação por Feixe de Electrões (MFE)/Electron Beam Machining (EBM)

A MFE recorre a um feixe de electrões cujo foco é a peça a maquinar, removendo-se material devido à fusão e vaporização, num diâmetro de feixe da ordem de 0,025 mm. No momento do choque dos electrões com a superfície do material, a sua energia cinética (velocidade é de $\frac{3}{4}$ a da luz) é convertida em energia térmica a qual leva à fusão local do material e posterior vaporização, o que ocorre numa câmara de vácuo evitando a colisão com moléculas de gás. MFE é usada na realização de furos de baixo diâmetro (0,05mm) ou realização de ranhuras – como é o caso de peças de motor de avião .

EBM uses an electron stream travelling at $\frac{3}{4}$ the speed of light that when on impinging the workpiece converts its kynetic energic into thermal which melts and vaporises the material. EBM is used to drill small-diameter holes (0,025 mm) and slots with 0,05 mm dimension. The EBM can be used in the manufacturing process of engine parts.



Modelo de funcionamento de MFE
Layout of EBM

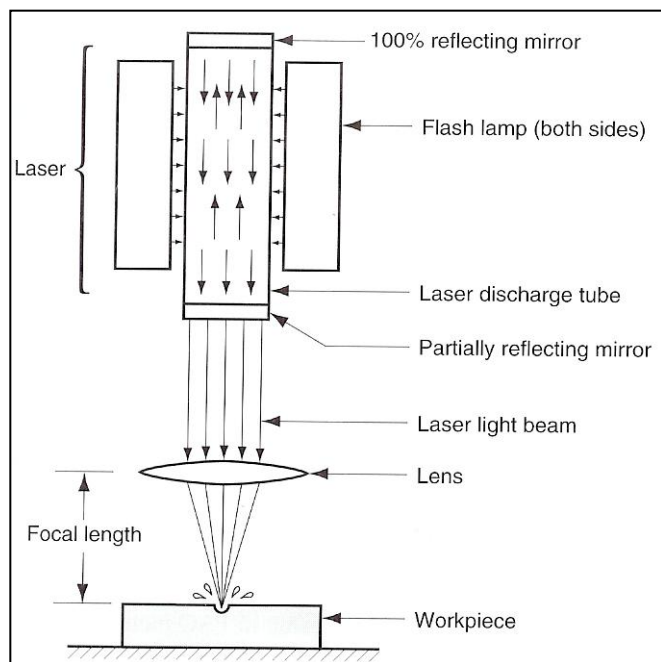


Aspecto geral de uma unidade de MFE
General aspect of an MFE unit

Maquinação por Feixe de Laser (MFL)/Laser Beam Machining (LBM)

A MFL recorre a um laser pulsado cujo feixe ao passar por uma lente incide na superfície de um material levando à fusão e evaporação deixando a superfície a velocidade elevada. MFL pode ser usado na furação até diâmetros com dimensão da ordem de 0,025 mm. Os materiais expostos a MFL deverão ter elevada capacidade de absorção de luz, fraca reflexão, boa condutividade térmica, baixo calor específico, baixo calor de fusão e baixo calor de vaporização.

LBM uses a pulsed laser to generate a stream of light that passes through lenses and then impinging the workpiece that produces a combination of evaporation and melting, with the melted material evacuating the surface at high velocity. LBM is used to perform drilling holes with 0,025mm. Materials to be LBM exposed should have high light energy absorption, poor reflectivity, good thermal conductivity, low specific heat, low heat of fusion and low heat of vaporisation.



Modelo de funcionamento de MFL
Layout of LBM



Aspecto geral de uma unidade de MFL
General aspect of an LBM unit

Corte por plasma (CPP) /Plasma Arc Cutting (PAC)

Define-se Plasma um gás na condição de superaquecido e electricamente ionizado.

O CPP usa plasma cuja temperatura se situam entre 10 K°C e 14 K°C para cortar metal o qual é projectado na condição de fundido. O plasma é gerado entre o eléctrodo (no interior da tocha) e a peças (que funciona como ânodo) sendo encaminhado para a superfície do material guiado por uma corrente de gás secundário, o que permite cortar espessuras até 15 cm.

O gás do jacto primário associado ao plasma é Azoto, Argon-Hidrogénio.

CPP poder ser usado na realização de produção série já que exhibe grandes velocidades de avanço, e.g., 0,8 cm/s para espessuras de 10 cm.

Apresenta como desvantagem o dano metalúrgico da zona adjacente ao corte.

Plasma is a superheated and ionized gas.

PAC uses plasmas with temperatures ranging from 10 K°C to 14 K°C to cut metal which is blown away.

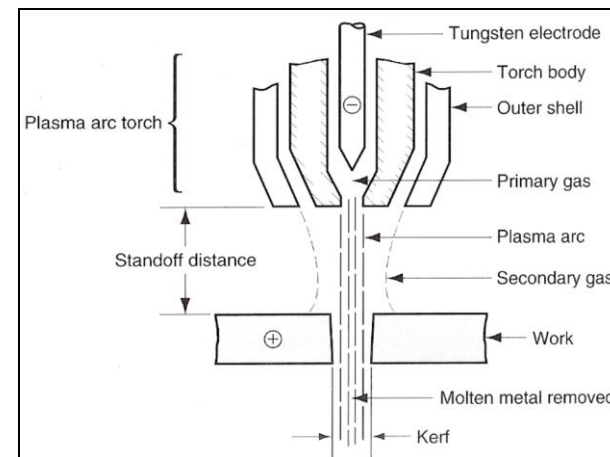
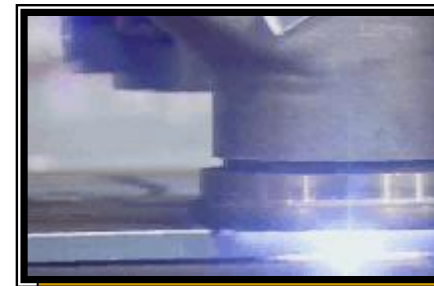
The plasma is generated inside the torch between the electrode and the workpiece.

The plasma is constricted by a secondary flow of gas or coldwater, being possible to cut material up to 15 cm thickness.

The primary gas can be nitrogen or argon-Hydrogen.

PAC can be used in series production as feed rate can reach values of the order of 0,8 cm/s when cutting 10 cm thickness.

PAC main disadvantage is the metallurgical damage of the cut surroundings.





Corte oxiacetilénico /Oxyfuel Cutting Processes (OCP)

Trata-se de um processo que recorre à combustão de gases que se combinam com reacções exotérmicas do metal com oxigénio.

Estes processos são usados com frequência para cortar placas metálicas de material ferroso, onde a oxidação rápida do ferro ocorre de acordo com as reacções químicas abaixo indicadas

A equação $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Calor/Heat}$ é a mais importante em termos de geração de calor.

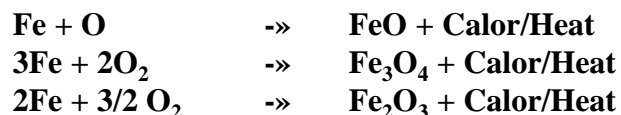
O corte de materiais não ferrosas é diferente na medida em que apresentam pontos de fusão inferiores e ainda são mais resistentes à oxidação. Nestes casos o calor de combustão da mistura de oxigénio e combustível é fundamental sendo necessário adicionar pós metálicos ao fluxo de oxigénio.

This type of processes uses the heat of combustion of certain fuel gases combined with the exothermic reaction of the metal with oxygen.

These processes are frequently used to cut ferrous metal plates, where rapid oxidation of iron occurs according to the following equations below.

Equation $3\text{Fe} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Calor/Heat}$ is the most important in terms of heat generation.

The cutting process of non-ferrous material is different because such materials have lower melting temperatures and are more resistant to oxidation. In these cases the heat of combustion of the fuel and oxygen is fundamental being necessary to add metal powders to the stream of oxygen





PROCESSOS QUÍMICOS

Chemical processes

A maquinação química é um processo não-convencional em que a remoção de material se faz por contacto com um agente químico (etchant)

A maquinação química abrange a fresagem, “blanking”, gravação e maquinação fotoquímica. Todos recorrem aos mesmos mecanismos para realizar a referida maquinação.

O processo de maquinação química envolve vários passos:

- Limpeza: para garantir que o material é removido de forma uniforme;
- Protecção/reservas: protecção feita de material quimicamente resistente ao ataque – neoprene, etc.
Existem vários processos de colocação de reserva (cut and peel, photographic resist, screen resist)
- Ataque (etching): passo que inclui a remoção do material (nas zonas não protegidas) em que o processo mais comum é o ataque ao metal convertendo num sal que se dissolve no banho químico. Concluído o processo de remoção a peça é retirada sendo lavada para parar o processo. Os ataques químicos são normalmente os seguintes:

Al e ligas :	FeCl ₃
Titânio:	HF
Aços:	HCl
- Remoção de reservas/protecções.

The chemical machining (CHM) is non conventional process where removal of material occurs through contact with a strong chemical etchant.

CHM includes milling, blanking engraving and photochemical machining. All use the same methods to carry on the machining process.

The CHM includes 4 steps:

- cleaning, to ensure uniform removal of material;
- masking, by material chemically resistant to etchant, eg., neoprene;
- etching, material removal using a chemical bath in which metal is converted into salt being dissolved thus removed from surface. Once concluded the process parts are then washed to stop process. The chemical etchants are normally:

Al and alloys :	FeCl ₃
Ti:	HF
Steel:	HCl

- Demasking.

Instalação industrial – exemplo/Example of CHM industrial instalation



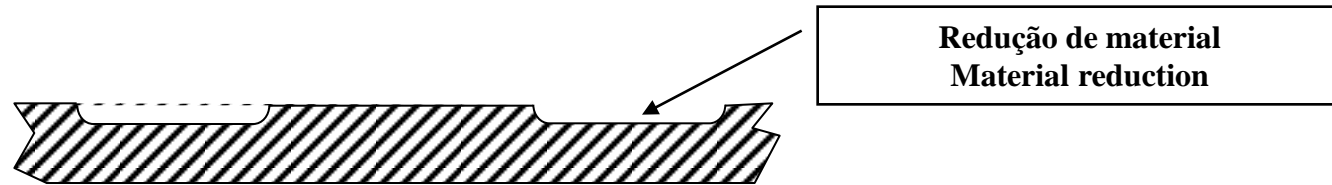
Fresagem Química/Chemical Milling

Processo comum em aeronáutica designadamente usado na remoção de grandes quantidades de material de painéis de fuselagem e de asas, usando-se o processo de reserva de “cut and peel”.

Com este processo é possível remover espessuras da ordem de 0,005 mm sem danos metalúrgicos.

Standard process in aeronautics where significant quantities of material are removed from fuselage and wing panels, using the “cut and peel” masking process.

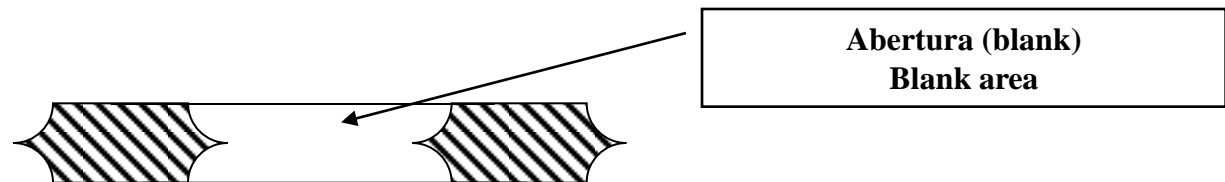
Thickness reduction can be as much as 0,005 mm without causing metalurgic damages.



“Arrombamento” químico / Chemical blanking

Processo equivalente a fresagem química todavia usado para provocar erosão total de uma zona da peça provocando o corte, designadamente de espessuras da ordem de 0,025 mm, o que seria impossível por estapagem.

Equivalent CHM allows to cut very thin plates, 0,025mm, where conventionla stamping and punching methods would damage parts.





COMPARAÇÃO DE PROCESSOS NÃO-CONVECIONAIS

Non-traditional processes comparison

APLICAÇÃO DE PROCESSOS NÃO-CONVENCIONAIS DE MAQUINAÇÃO vs MATERIAIS								
Applicability of non-traditional machining processes vs materials								
Material	Processos mecânicos Mechanical processes		Processos Electroquímicos Electrochemical processes	Processos Térmicos Thermal Processes				Processos Químicos Chemical processes
	USM	WJC	ECM	EDM	EBM	LBM	PAC	CHM
Al	C	C	B	B	B	B	A	A
Aços/Steel	B	D	A	A	B	B	A	A

Legenda/key

USM	Ultrasound machining	A	Boa utilização/Good application
WJC	Water Jet Cutting	B	Utilização mediana/Fair application
ECM	Electrochemical Machining	C	Má utilização/Poor application
EDM	Electric Discharge Machining	D	Não aplicável/Not applicable
EBM	Electron Beam Machining		
LBM	Laser Beam Machining		
PAC	Plasma Arc Cutting		
CHM	Chemical Milling		

CARACTERÍSTICAS DA MAQUINAÇÃO NÃO-CONVENCIONAL vs MATERIAIS								
Machining Characteristics of Non-traditional Machining Processes vs materials								
Material	Processos mecânicos Mechanical processes		Processos Electroquímicos Electrochemical processes	Processos Térmicos Thermal Processes				Processos Químicos Chemical processes
	USM	WJC	ECM	EDM	EBM	LBM	PAC	CHM
Al	C	C	B	C	D	D	A	B-D
Aços/Steel	A	B	B	A-D	A	A	D	A-B

Legenda/key

USM	Ultrasound machining	A	Excelente/Excellent
WJC	Water Jet Cutting	B	Boa/good
ECM	Electrochemical Machining	C	Razoável/fair
EDM	Electric Discharge Machining	D	Fracca/poor
EBM	Electron Beam Machining		
LBM	Laser Beam Machining		
PAC	Plasma Arc Cutting		
CHM	Chemical Milling		