ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMR 3501
Engenharia de Precisão

A01
INTRODUÇÃO

2023.2

Informações gerais

Docentes: Prof. Dr. Oswaldo Horikawa

Prof. Dr. Rodrigo L. Stoeterau

Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos - Salas MS-02, MS-04

e-mails: ohorikawa@usp.br , rodrigo.stoeterau@usp.br

Horário: Quartas-feiras das 07:30 - 09:10
Quintas-feiras das 09:20 - 11:00

Planejamento

Dia	S	Aula	Tópico	Prof.
09.08	4ª	A1	INTRODUÇÃO. Desenvolvendo máquinas de alta precisão / Precisão e acurácia. Por que alta precisão? / Estado da arte / Aspectos históricos	OH+RS
10.08	5ª	A2	Princípios de projeto de máquinas de precisão: Axioma das informações mínimas, Princípio da independência funcional, Princípio do projeto total, Princípio da folga zero / Princípio de Abbe	OH
16.08	4ª	A3	Princípio da rigidez / Minimização da dilatação térmica	OH
17.08	5ª	A4	Princípio do movimento suave / Princípio do projeto cinemático / Princípio da compensação de erros / Limite superior da precisão de usinagem	OH
23.08	4ª	A5	Princípio do copiamento / Princípio da evolução / Princípio de Abbe	OH
24.08	5ª	A6	Princípios de usinagem: Erros da usinagem / Usinagem *in-situ*	OH
30.08	4ª	A7	Metrologia de precisão: Sensores	OH
31.08	5ª	A8	Franjas de moire	OH
06.09	4ª	---	Recesso – Semana da Pátria	
07.09	5ª	---	Feriado – Independência	
13.09	4ª	A9	Interferômetro a laser	OH
14.09	5ª	A10	*Encorders e resolvers*	OH
20.09	4ª	A11	Medição de circularidade	OH
21.09	5ª	A12	Medição de precisão de movimento rotativo	OH
27.09	4ª	A13	Medição de precisão de movimento linear simples	OH
28.09	5ª	A14	Medição de precisão de movimento linear composto	OH
04.10	4ª	A15	Medidor tridimensional de coordenadas	OH
05.10	**5ª**	**A16**	**Avaliação - OH**	RS
11.10	4ª	A17	Formação das equipes e apresentação das propostas de estudos de casos	RS
12.10	5ª	---	Feriado – Padroeira do Brasil	RS
18.10	4ª	A18	Fundamento da usinagem de ultra precisão	RS
19.10	5ª	A19	**1a** apresentação dos estudos de casos – caracterização dos estudos de casos	RS
25.10	4ª	A20	Máquinas de ultra precisão - configurações, laço estrutural e materiais	
26.10	5ª	---	Feriado – Finados	RS
01.11	4ª	A21	**2a** apresentação dos estudos de casos – considerações estruturais	
02.11	5ª	A22	Máquinas de ultra precisão - mancais e guias aerostáticos	RS
08.11	4ª	A23	Máquinas de ultra precisão - sistemas de medição e sistemas de controle	RS
09.11	5ª	A24	**3a** apresentação dos estudos de casos – sistema de controle	RS
15.11	4ª	---	Feriado – Proclamação da República	RS
16.11	5ª	A25	Máquinas de ultra precisão - guias de molas e mancais especiais	RS
22.11	4ª	A26	Máquinas de ultra precisão - acionamentos e acoplamentos	RS
23.11	5ª	A27	**4a** apresentação dos estudos de casos – constituintes e acionamentos	RS
29.11	4ª	A28	Máquinas de ultra precisão - transmissores e conversores do movimento	RS
30.11	5ª	A29	Máquinas de ultra precisão - considerações estáticas, dinâmicas e térmicas	RS
06.12	4ª	A30	Máquinas de ultra precisão - Erros, propagação e compensação	RS
07.12	5ª	A29	**Apresentação final dos estudos de casos** – Considerações e Erros	RS
13.12	4ª	A30	Avaliação - RS	RS
20.12	4ª.	A31	**SUB**	

Método de Avaliação

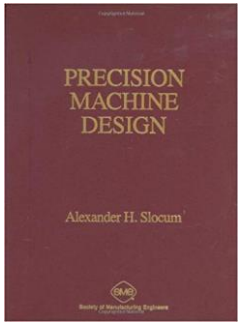
$$Média\ Final = \frac{Av_i + Estudo\ de\ Caso}{5}$$

Onde:

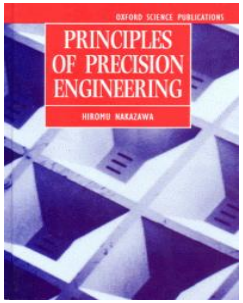
$$Av_i = \sum Nota_i - Nota_menor$$

➔ A frequência mínima é de 75%; alunos que se ausentarem por mais de sete aulas serão **reprovados.**

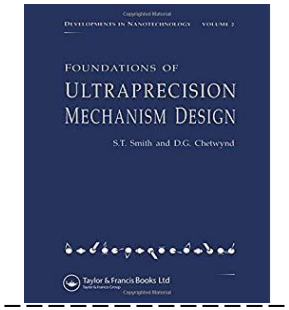
Bibliografia



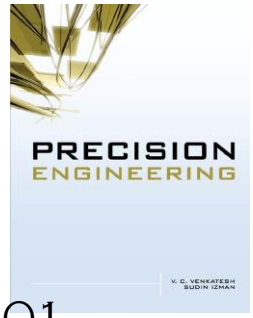
- Slocun, A. Precision Machine Design, SME, 1992 - 750 páginas



- Nakazawa, H. Principles of precision engineering, Oxford University Press, 1994 - 267 páginas



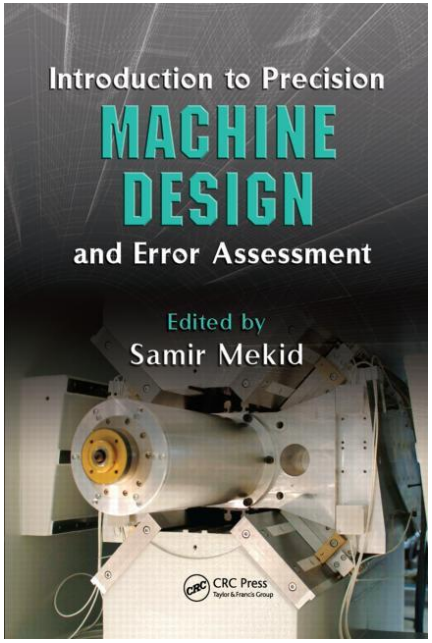
- Smith, S.T., Chetwynd, D.G.. Foundation of Ultraprecision Mechanism Design, Gordon and Breach Science Publishers, 1998.

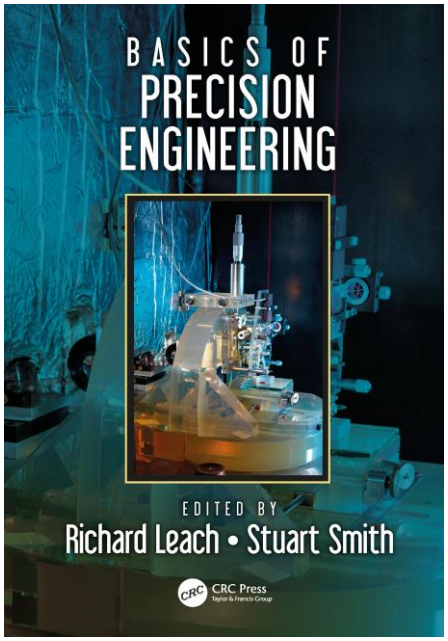


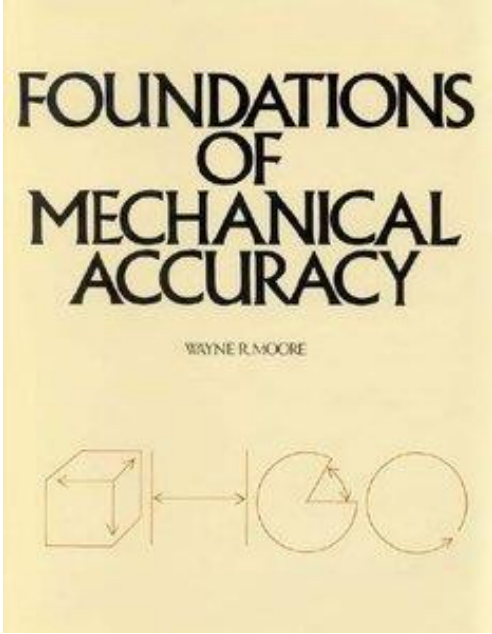
- Venkatesh, V. C.; Izman S. Precision Engineering, McGraw-Hill Publishing, 2007

Bibliografia auxiliar

- Notas de aula e artigos disponibilizados durante o curso.







Introdução

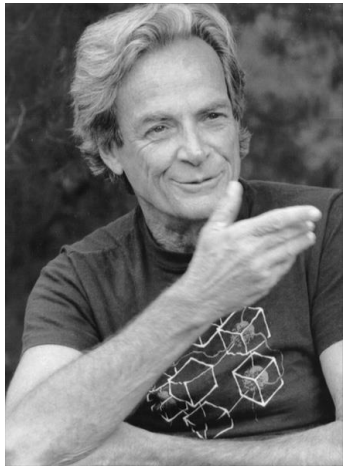
A filosofia da engenharia de precisão remonta ao início dos anos 1930, quando esta área da engenharia foi discutida em um contexto mais amplo.

Hoje, existem órgãos renomados atuando fortemente neste campo da engenharia:

- A Sociedade Japonesa de Engenharia de Precisão (JSPE),
- a Sociedade Americana de Engenharia de precisão (ASPE),
- a Sociedade Europeia de Engenharia de Precisão e Nanotecnologia (EUSPEN),
- e a International Academy for Production Research (CIRP — Collège International Recherhe Production)

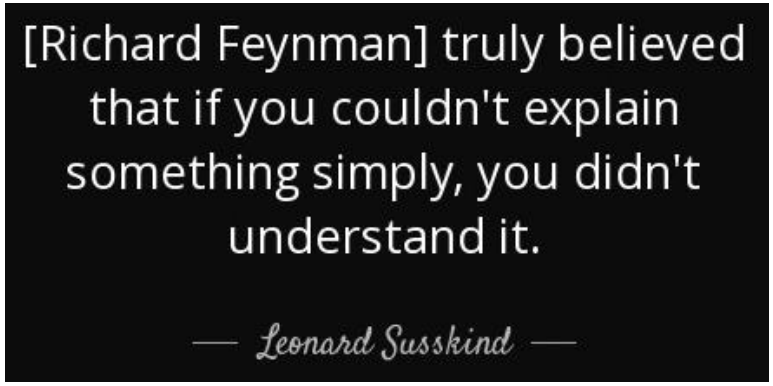
A JSPE teve origem através do esforços do Professor Tamotou Aoki da Universidade de Tóquio em 1933 e foi fundada em 1947 nos moldes da Association of Precision Machinery. O objetivo inicial desta associação era se concentrar na pesquisa e desenvolvimento em máquinas de precisão.

Richard Feynman (Nobel de Física), 1959.



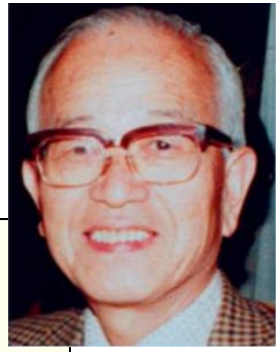
" ***There's still plenty of room at the bottom***"

- *Feynman gave his famous lecture, considered the conceptual beginnings of the field of nanotechnology.*
- *Promulgated the idea of manipulating individual atoms and the notion of chemical synthesis by mechanical manipulation.*



https://www.brainyquote.com/authors/k_eric_drexler

Norio Taniguchi, 1974



was the first to coined the word ***Nanotechnology***

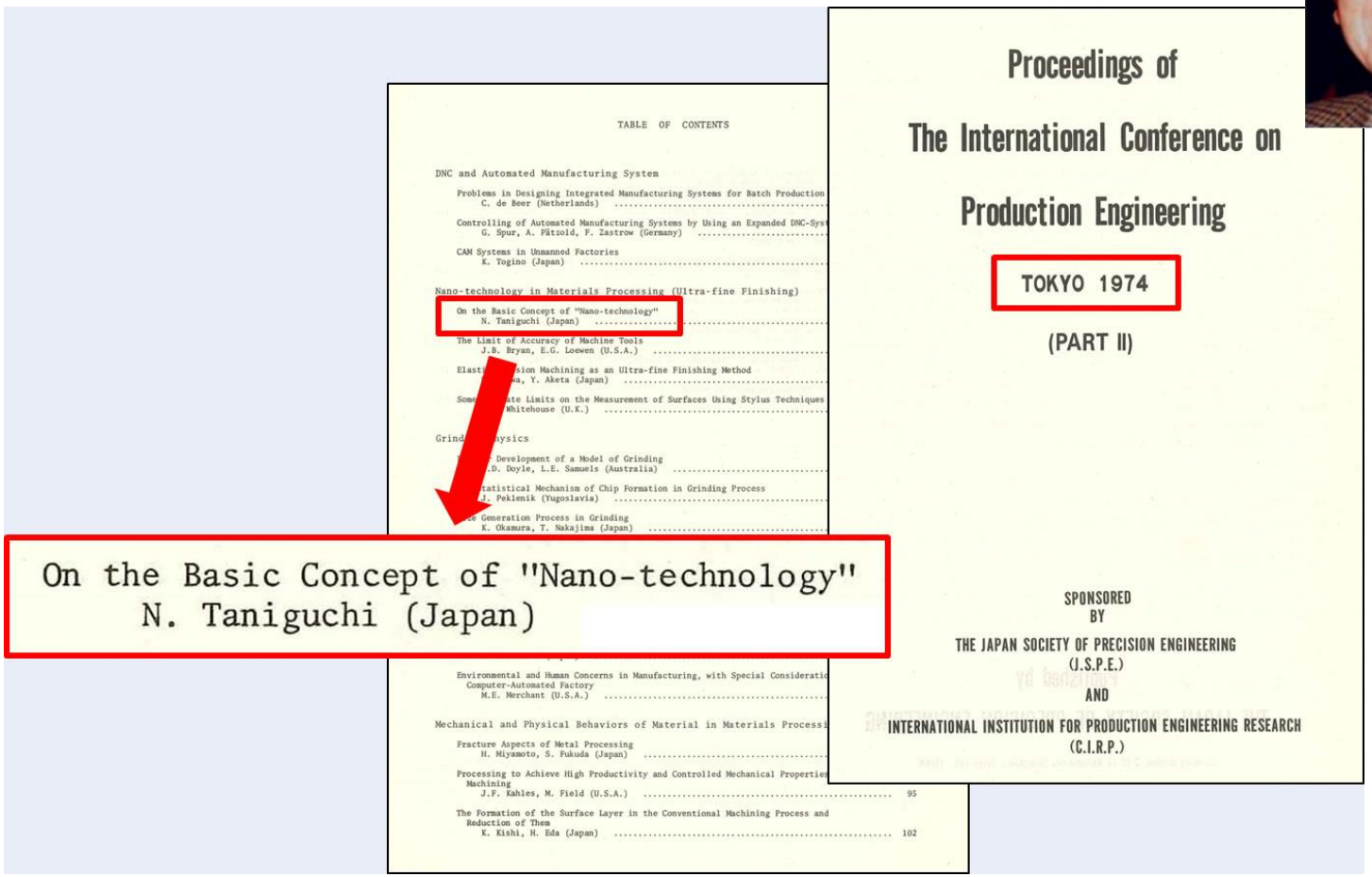


TABLE OF CONTENTS

DNC and Automated Manufacturing System

Problems in Designing Integrated Manufacturing Systems for Batch Production
C. de Beer (Netherlands) .....

Controlling of Automated Manufacturing Systems by Using an Expanded DNC-Sys
G. Spur, A. Pätzold, F. Zastrow (Germany) .....

CAM Systems in Unmanned Factories
K. Togino (Japan) .....

Nano-technology in Materials Processing (Ultra-fine Finishing)

On the Basic Concept of "Nano-technology"
N. Taniguchi (Japan) .....

The Limit of Accuracy of Machine Tools
J.B. Bryan, E.G. Loewen (U.S.A.) .....

Elast sion Machining as an Ultra-fine Finishing Method
a, Y. Aketa (Japan) .....

Some ate Limits on the Measurement of Surfaces Using Stylus Techniques
Whitehouse (U.K.) .....

Grind ysics

Development of a Model of Grinding
.D. Doyle, L.E. Samuels (Australia) .....

tatistical Mechanism of Chip Formation in Grinding Process
J. Peklenik (Yugoslavia) .....

e Generation Process in Grinding
K. Okamura, T. Nakajima (Japan) .....

Environmental and Human Concerns in Manufacturing, with Special Consideratio
Computer-Automated Factory
M.E. Merchant (U.S.A.) .....

Mechanical and Physical Behaviors of Material in Materials Processi

Fracture Aspects of Metal Processing
H. Miyamoto, S. Fukuda (Japan) .....

Processing to Achieve High Productivity and Controlled Mechanical Propertie
Machining
J.F. Kahles, M. Field (U.S.A.) 95

The Formation of the Surface Layer in the Conventional Machining Process and
Reduction of Them
K. Kishi, H. Eda (Japan) 102

On the Basic Concept of "Nano-technology"
N. Taniguchi (Japan)

Proceedings of

The International Conference on

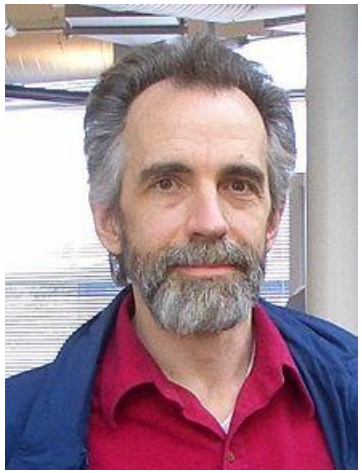
Production Engineering

TOKYO 1974

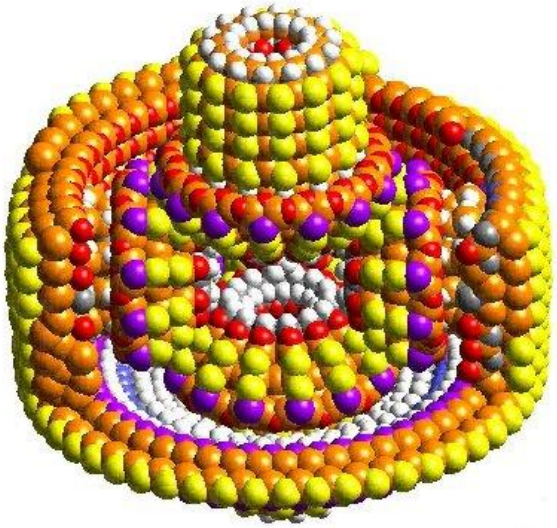
(PART II)

SPONSORED
BY
THE JAPAN SOCIETY OF PRECISION ENGINEERING
(J.S.P.E.)
AND
INTERNATIONAL INSTITUTION FOR PRODUCTION ENGINEERING RESEARCH
(C.I.R.P.)

K. Eric Drexler



"In thinking about nanotechnology today, what's most important is understanding where it leads, what nanotechnology will look like after we reach the assembler breakthrough."



Copyright 1997 IMM. All rights reserved.

"I had been impressed by the fact that biological systems were based on molecular machines and that we were learning to design and build these sorts of things."

Molecular Differential Gear

https://www.brainyquote.com/authors/k_eric_drexler

Objetivos

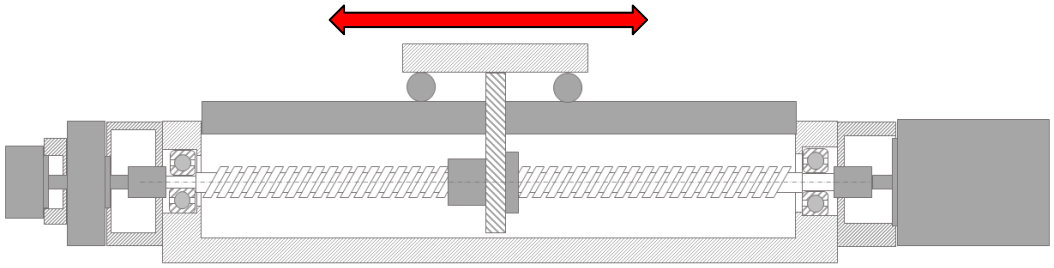
Apresentar os princípio de engenharia de precisão, analisar componentes mecânicos, atuadores e sensores sob o ponto de vista da alta resolução, precisão e acurácia.

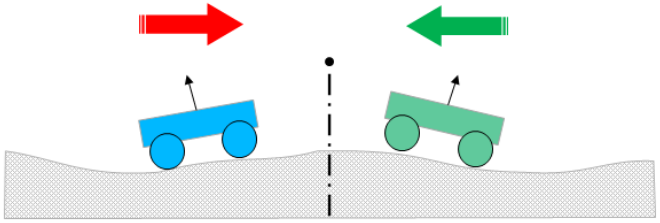
Apresentar técnicas de análise e correção de erros geométricos em máquinas de precisão, e discutir os métodos de medição desses erros em máquinas utilizando interferometria Laser.

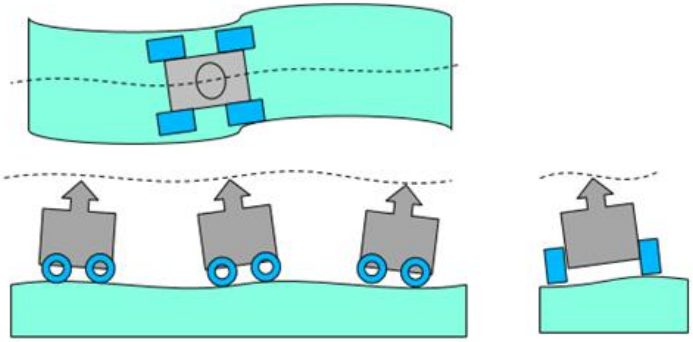
Exercitar os conceitos de mecânica de precisão no projeto de máquinas.

Objetivos

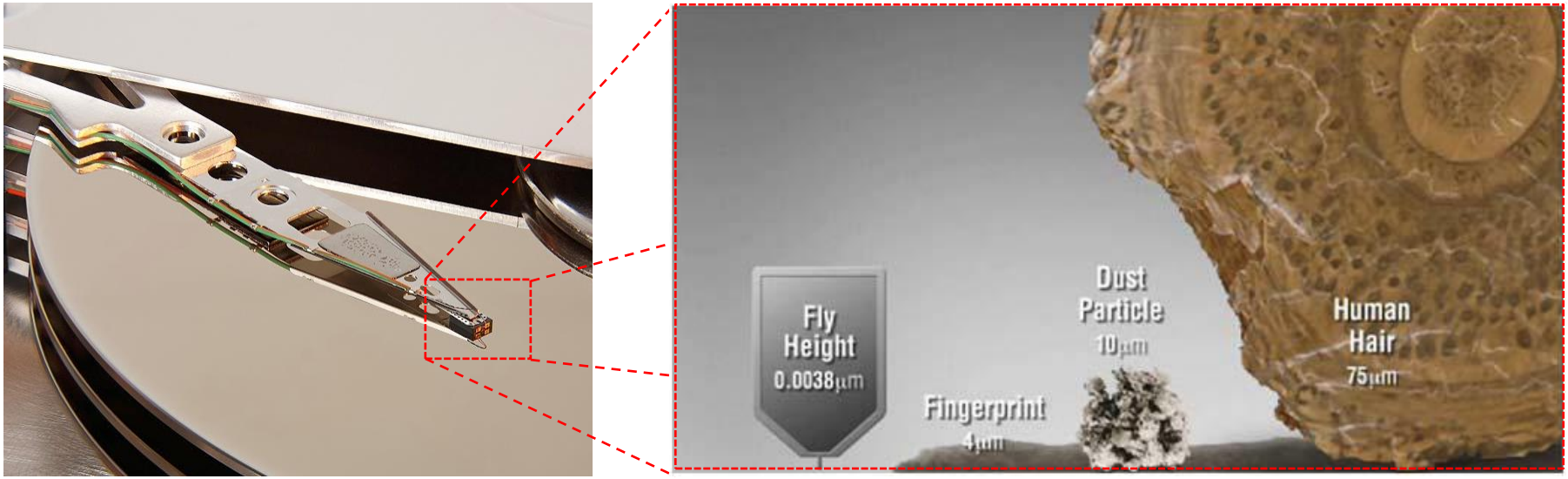
- Apresentar os conceitos de projeto de sistemas de precisão e soluções mecatrônicas.
- Apresentar uma abordagem holística para problemas de engenharia que tenham requisitos extremos de movimentação e posicionamento entre outros.

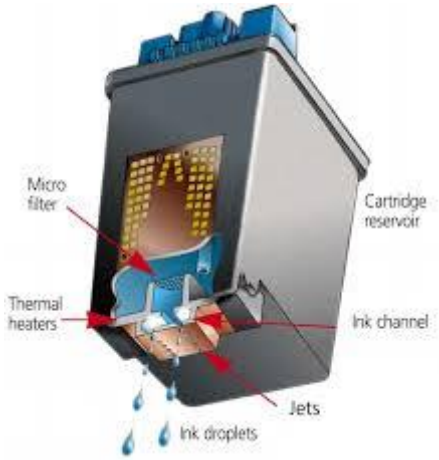


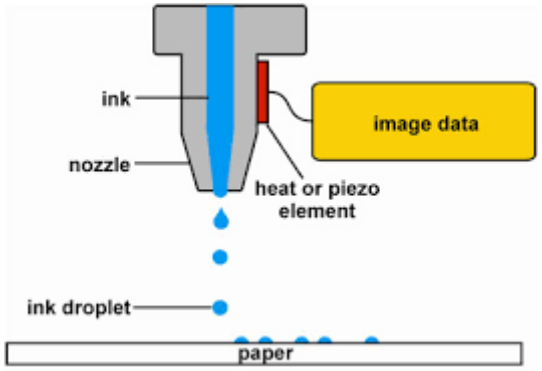


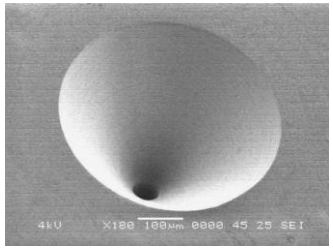


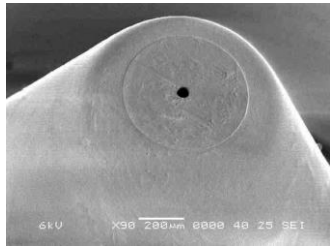
Considerações de escala





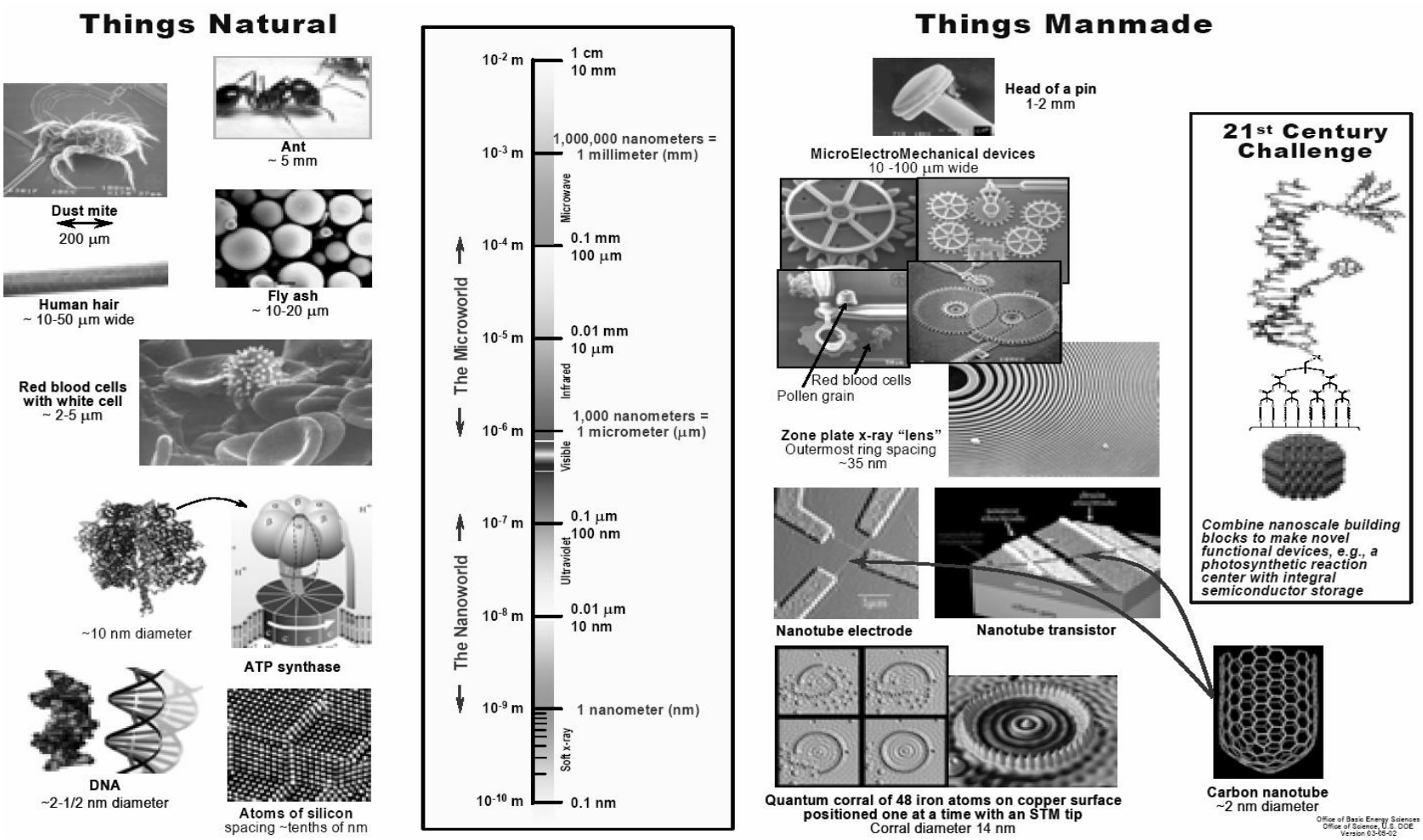






https://wall.alphacoders.com/by_sub_category.php?id=211691

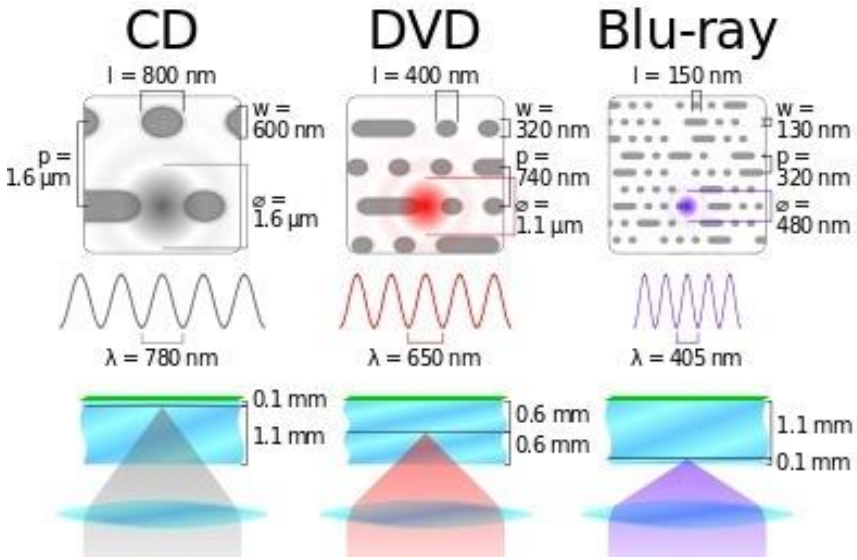
Comparativo dimensional

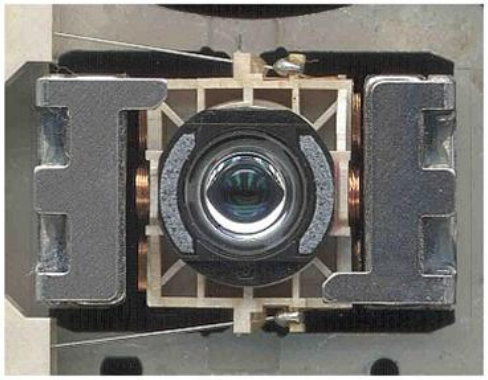


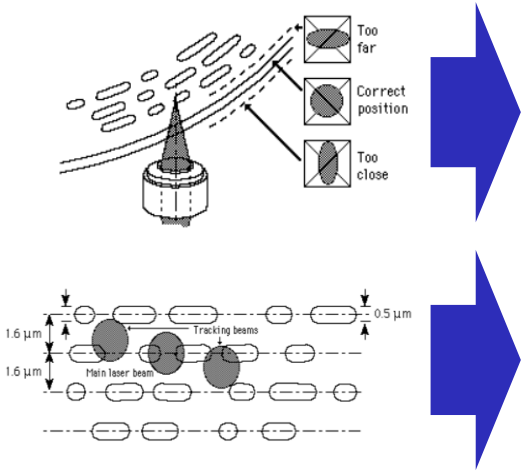
Áreas de aplicações de engenharia de precisão

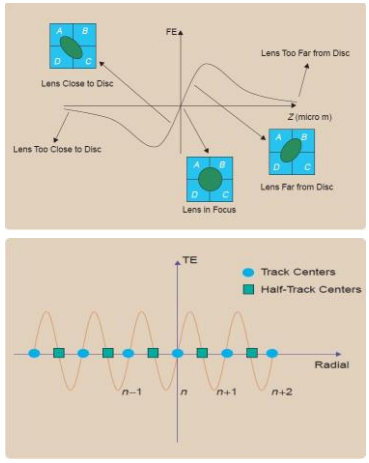
Áreas de aplicações de engenharia de precisão

Micro ótica





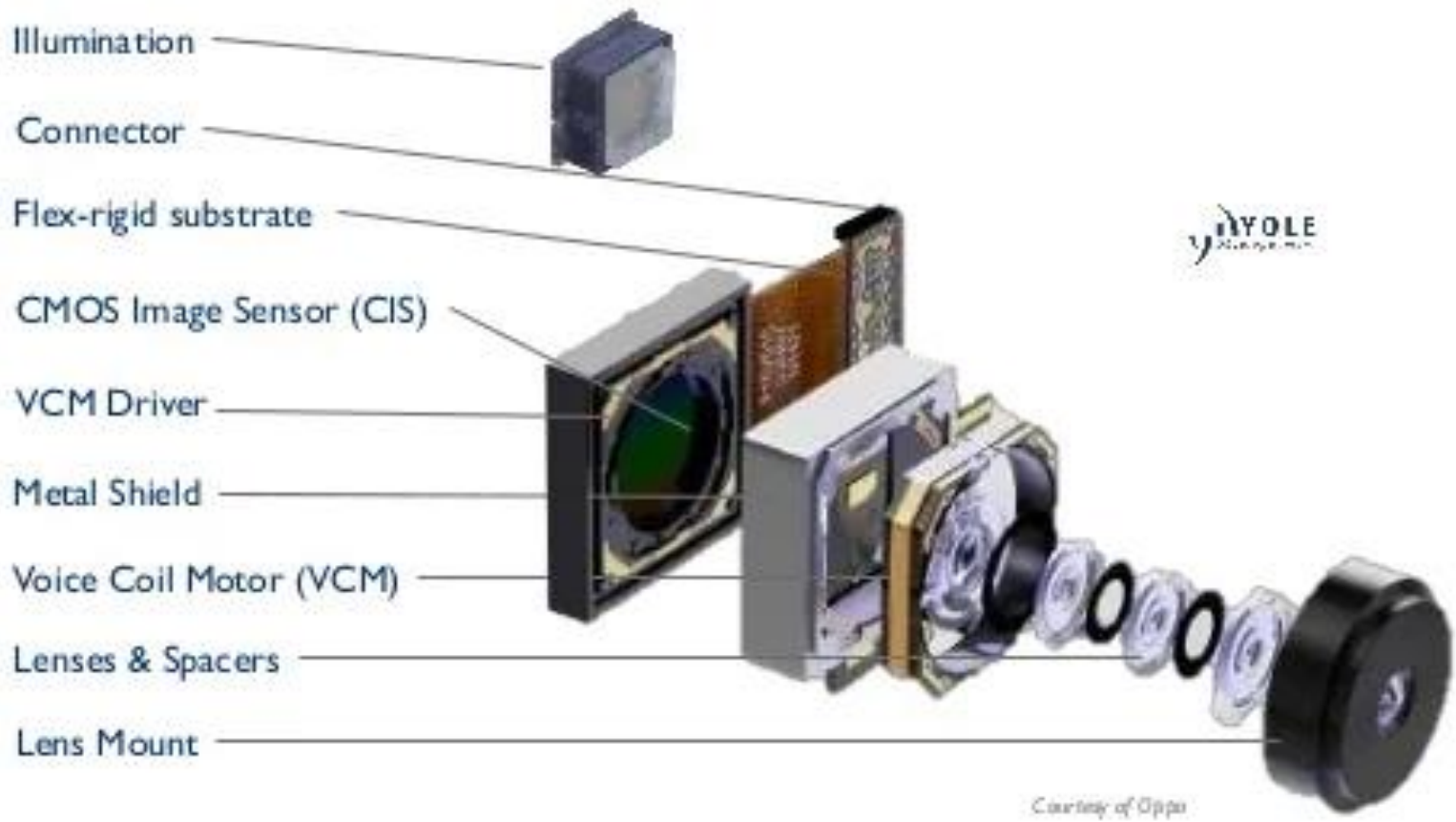




http://www.repairfaq.org/sam/Blu-ray/site1/optics.html

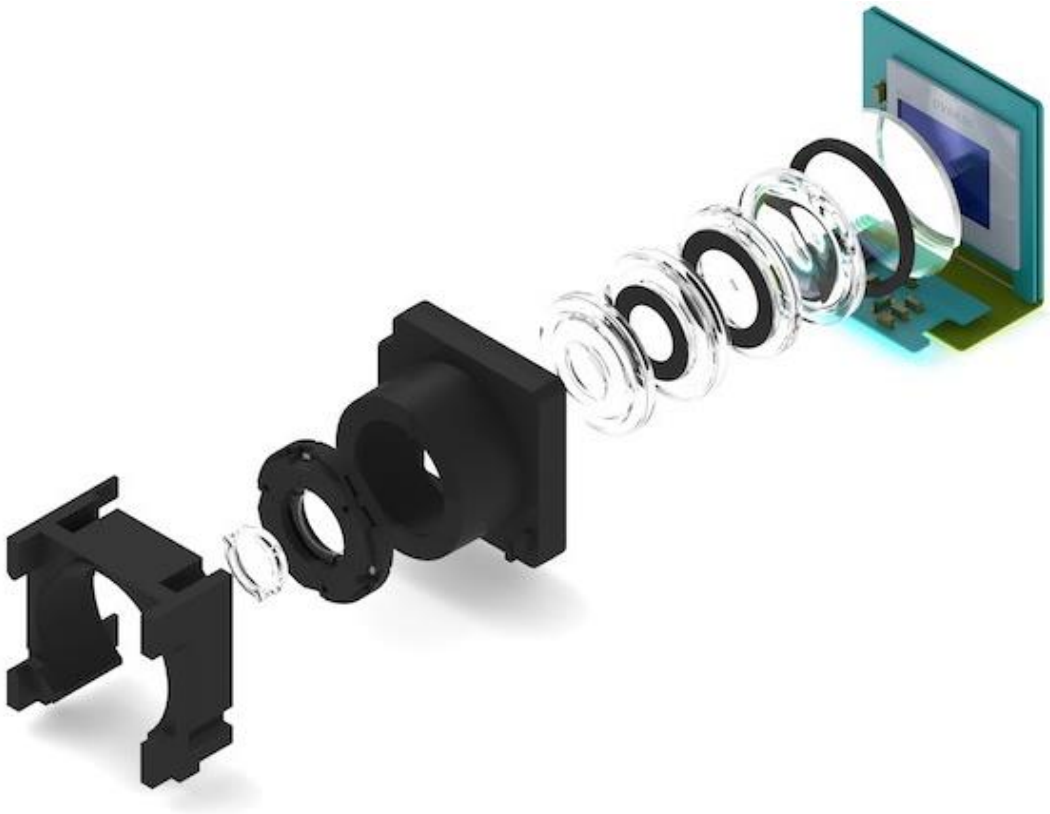
Áreas de aplicações de engenharia de precisão

Micro ótica



Áreas de aplicações de engenharia de precisão

Micro ótica

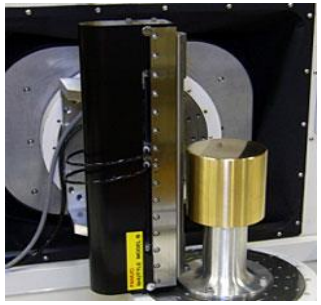


http://www.repairfaq.org/sam/Blu-ray/site1/optics.html

Exemplos de aplicações de engenharia de precisão

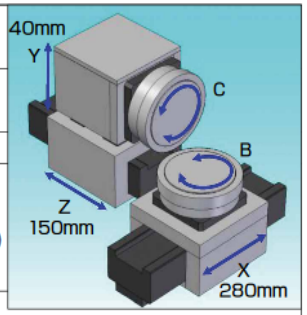
Máquinas ferramentas

ROBONANO α-0iB



Main specifications

Stroke	X axis (horizontal linear)	280mm
	Z axis (horizontal linear)	150mm
	Y axis (vertical linear)	40mm
	B axis (horizontal rotation)	360° (continuous rotation)
	C axis (vertical rotation)	
Bearing type	Hydrostatic air bearing (all axes)	
Command resolution	X, Z, and Y axes	1nm
	B and C axes	0.000001°
Work-table area	B and C axes	Φ210mm
Maximum feedrate	X and Z axes	500mm/min
	Y axis	50mm/min
	B axis	3600° /min
	C axis	3600° /min
		250min⁻¹ (S axis mode)
Straightness	X axis	0.2μm/280mm
	Z axis	0.2μm/150mm
	Y axis	0.2μm/40mm
Run out	B and C axes	0.05μm
Mass of the machine	Approx. 1700 kg	
Standard accessories	Supplying cutting fluid unit Tool holder Counter weight Angle plate Precision compressed air temperature control system Speed display	



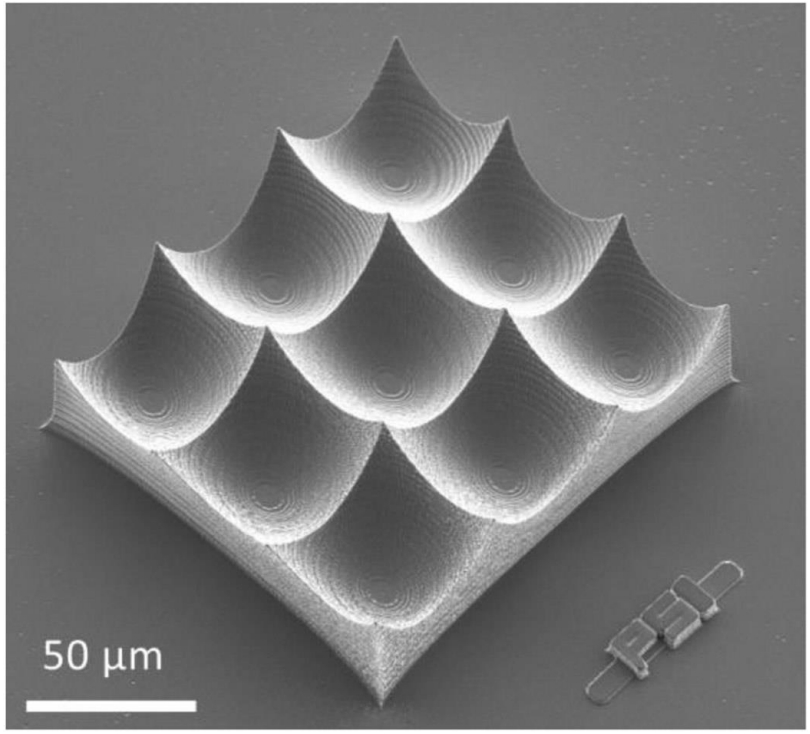
http://fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robonano/ROBONANO%20a-0iB(E)_v10.pdf

Exemplos de aplicações de engenharia de precisão

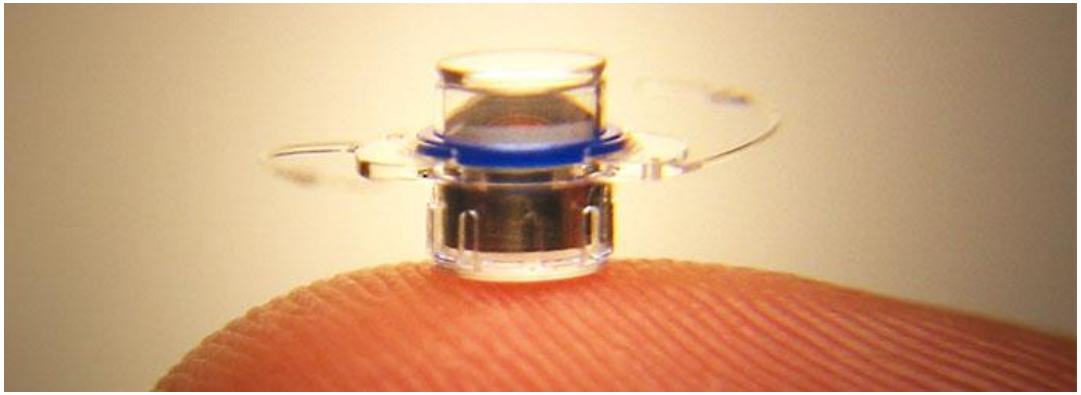
Metrologia
Ex.: Máquinas e robôs de medição por coordenadas

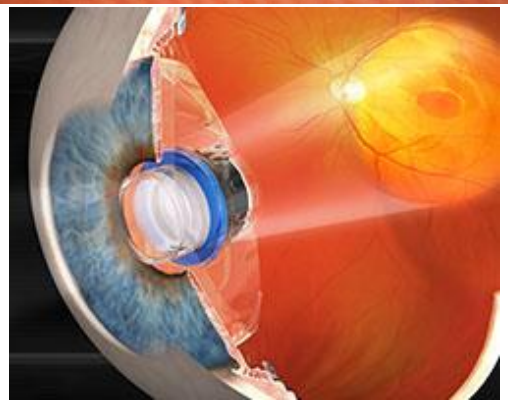
Exemplos de aplicações de engenharia de precisão

Micro ótica



http://spie.org/newsroom/6788-reducing-the-roughness-of-3d-micro-optics

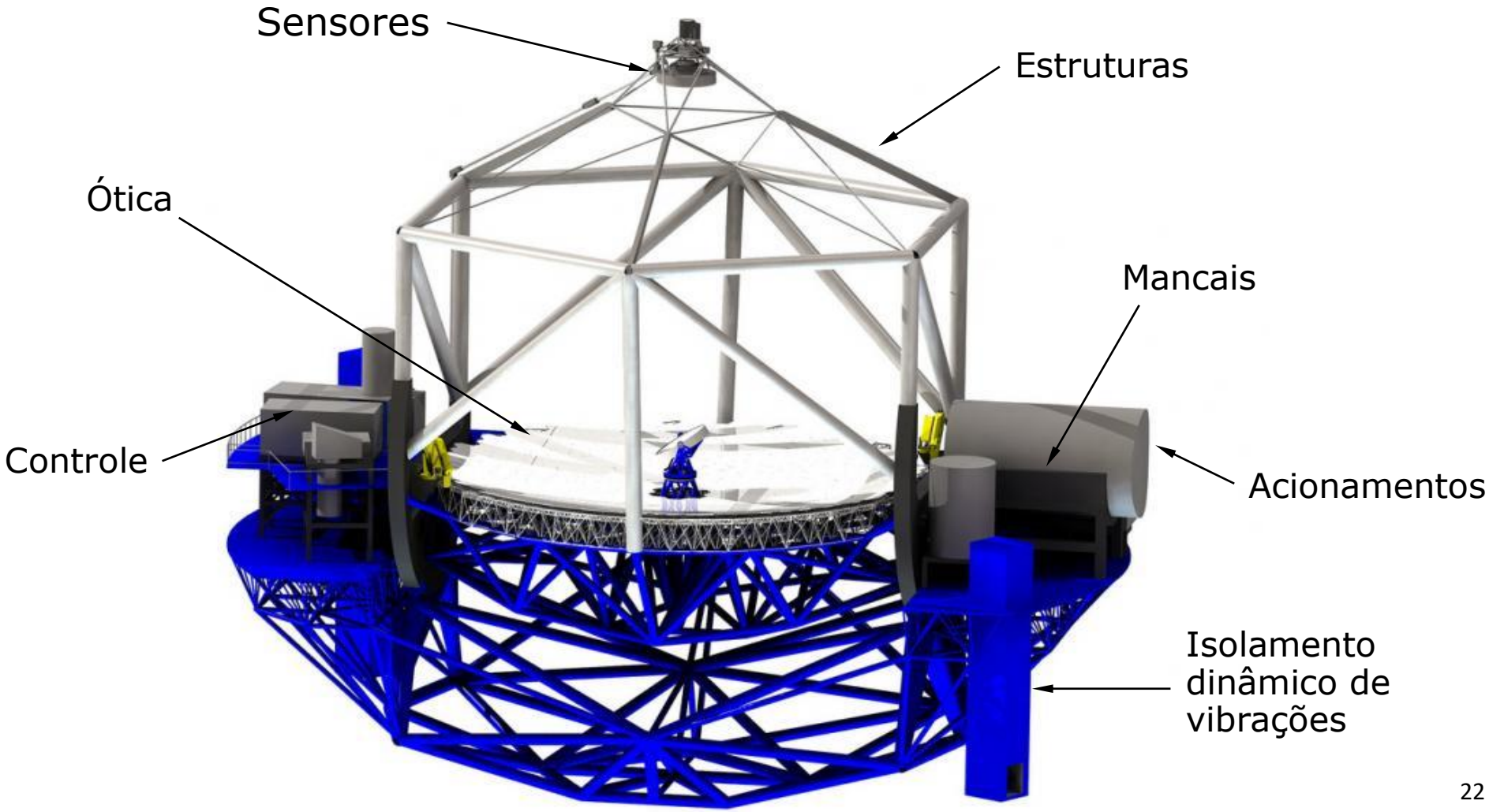




http://eye.osu.edu/research/articles/microoptics/

Exemplos de aplicações de engenharia de precisão

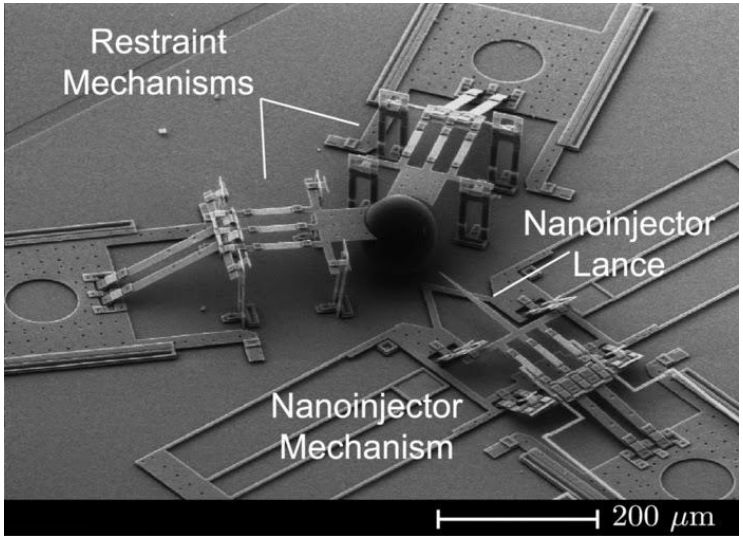
Telescópios

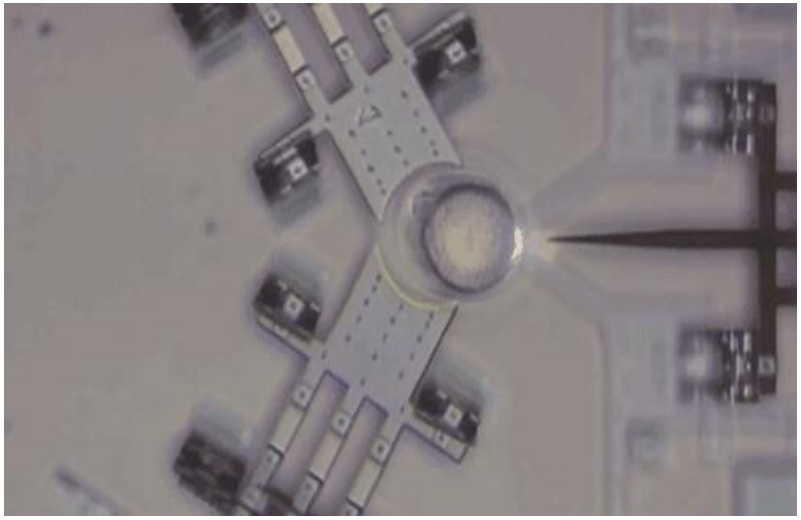


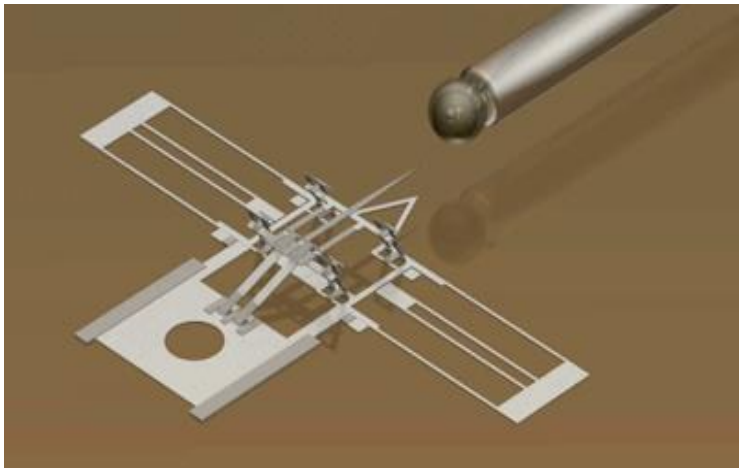
http://www.tmt.org/observatory/telescope/structure

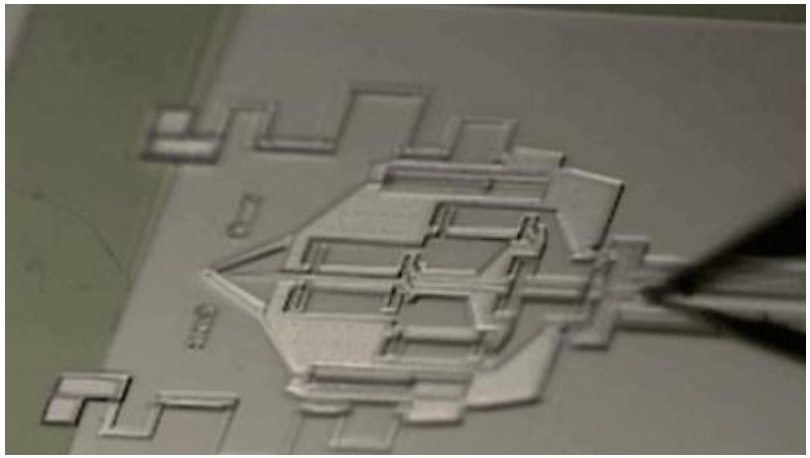
Exemplos de aplicações de engenharia de precisão

Micro/nano máquinas









http://prosthetic knowledge.tumblr.com/post/85913168136/nanoinjector-researchers-at-brigham-young

Exemplos de aplicações de engenharia de precisão

Sistemas médicos

Ventr Assist

Duraheart

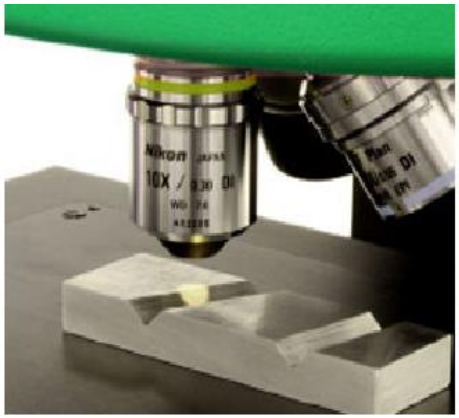
Gyro

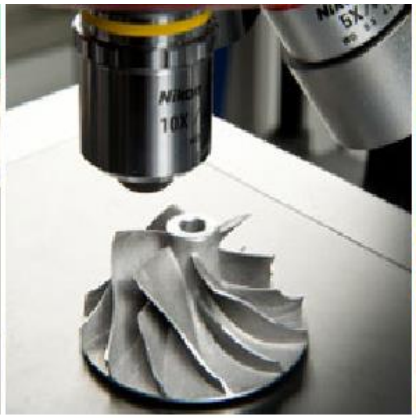
HeartMate III

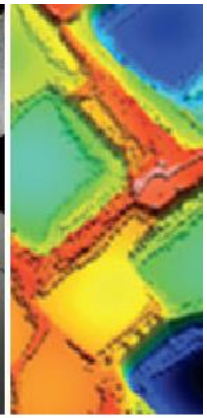
DAV no mundo

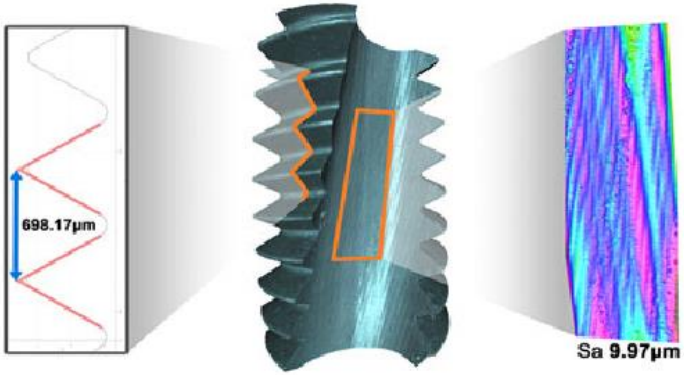
Exemplos de aplicações de engenharia de precisão

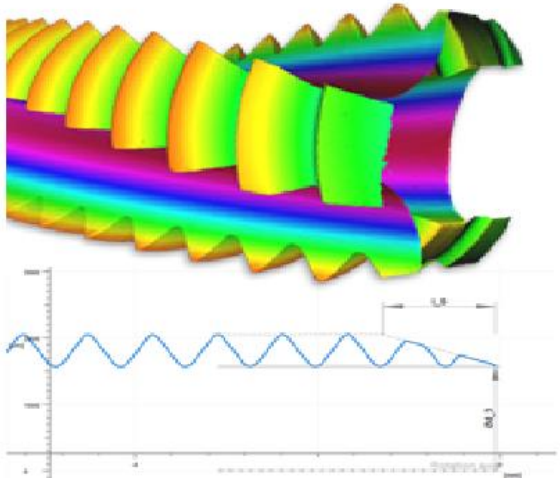
Sistemas de medição ópticos de alta resolução





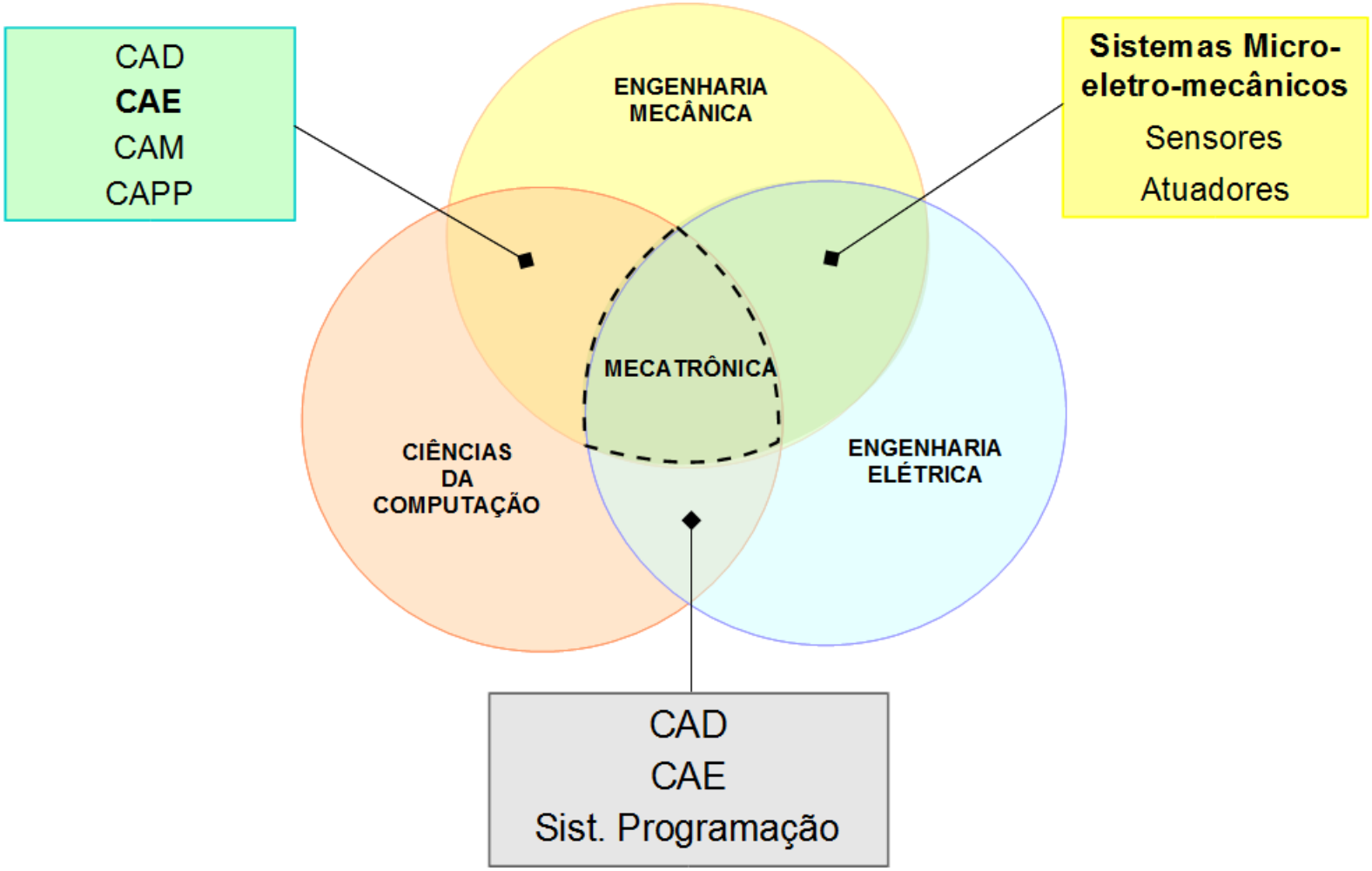




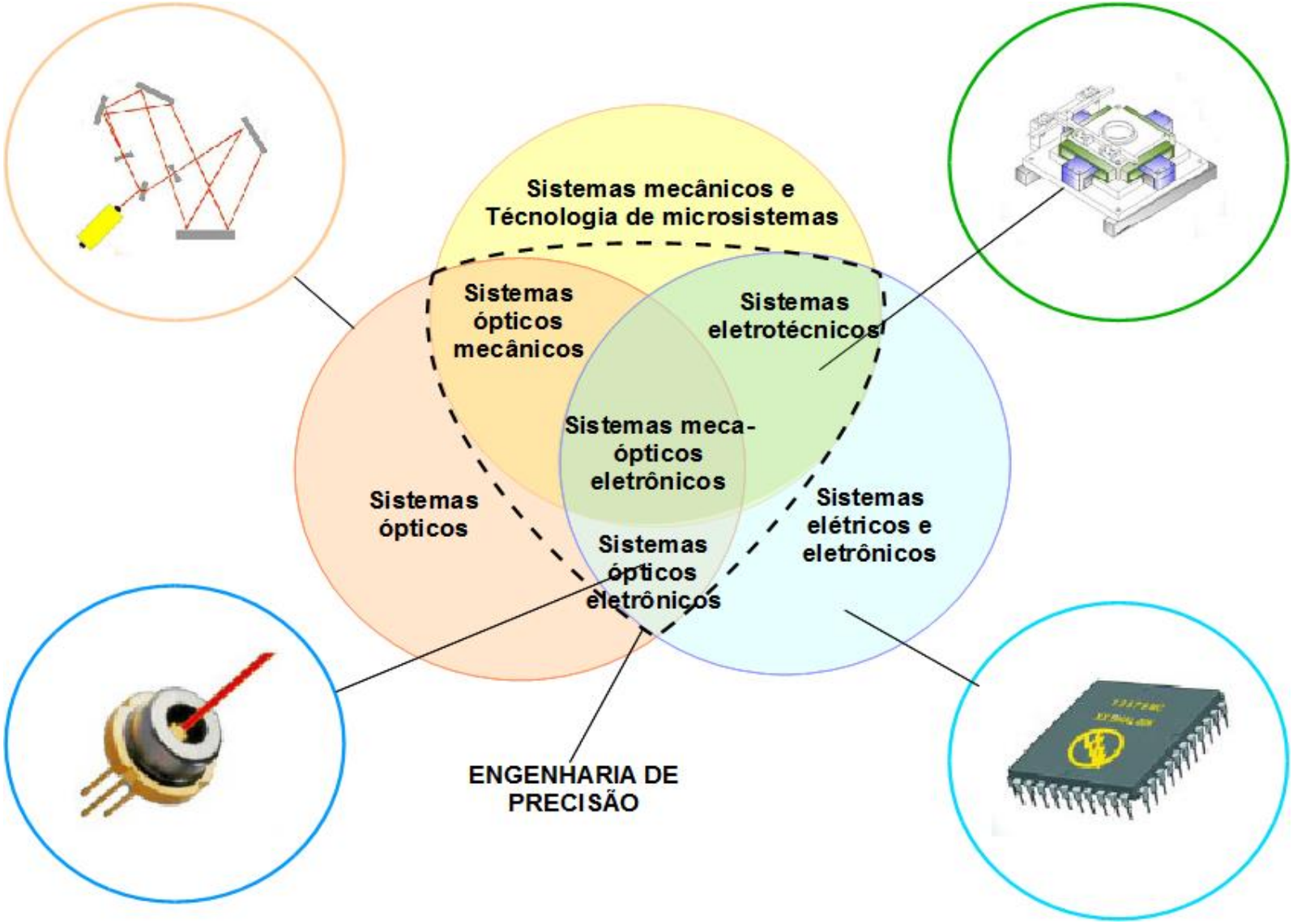


http://www.alicona.com/products/infinitefocus/

Áreas de Conhecimento



Áreas de Conhecimento

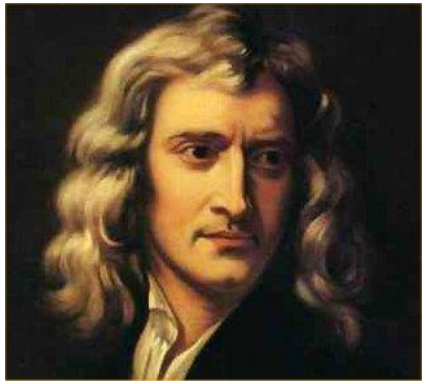


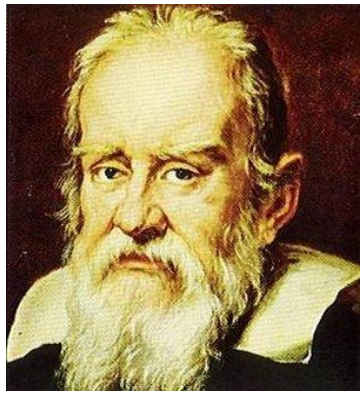
Fundamentos do projeto de precisão

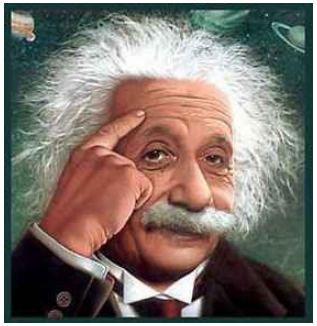
"Um homem que deseja projetar....

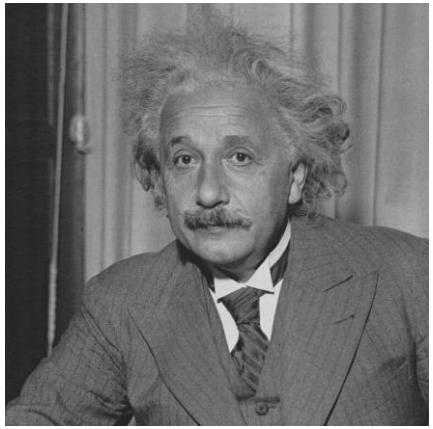
Deve inicialmente OBSERVAR, e

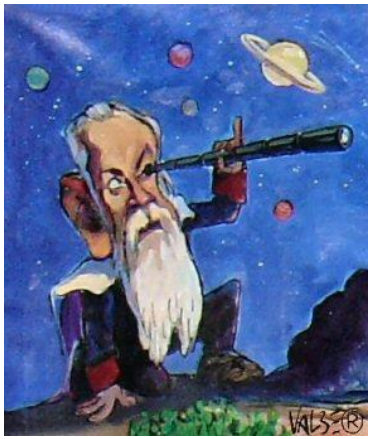
PENSAR!"





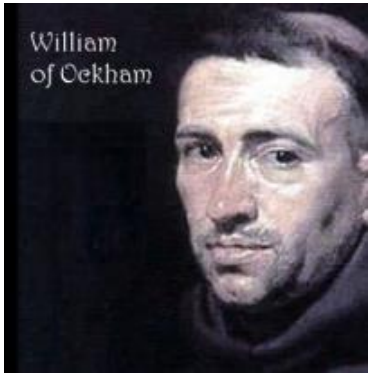






Fundamentos do projeto de precisão

Princípio de Ockham (Occam's) Razor



William of Ockham (c. 1287–1347), Frade Franciscano, estudioso, professor, filósofo e teólogo Inglês.

- Ockham defende que a intuição deve ser o ponto de partida para o conhecimento do universo.

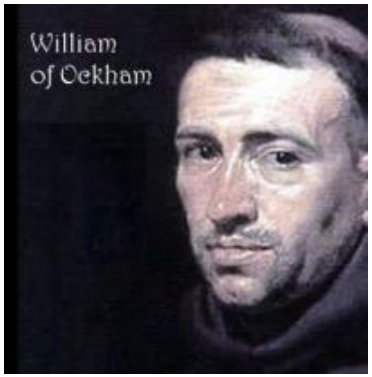
- Ockham reescreveu o princípio Aristotélico o qual versa:

"as entidades não devem ser multiplicadas além do necessário, ..."

(in Duns Scotus, Tratado Econômico).

Fundamentos do projeto de precisão

Princípio de Ockham (Occam's) Razor



'All things being equal, the simplest explanation tends to be the correct one'

- **Resumindo:**
  - ✓ *quanto mais simples melhor,*
  - ✓ *quanto menos peças melhor, ou*
  - ✓ *quanto menos peças móveis melhor.*

Fundamentos do projeto de precisão

Pensamentos críticos

- Se você está **contente** com algo, contorne
- Se você está **descontente** com algo, contorne
- Sempre pode haver uma solução melhor, tente novas abordagens
- Você pode projetar um sistema para ser insensível ao meio, ou você pode isolar o sistema do meio
- Se você não consegue resolver um problema pelo seu começo, comece pelo fim e trabalhe no sentido reverso

PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF THE ROYAL SOCIETY A

Phil. Trans. R. Soc. A (2012) **370**, 3993–4014
doi:10.1098/rsta.2011.0638

Gráfico de Tanigushi

REVIEW

Ultra-precision: enabling our future

BY PAUL SHORE* AND PAUL MORANTZ

Precision Engineering Institute, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, MK43 0AL, UK

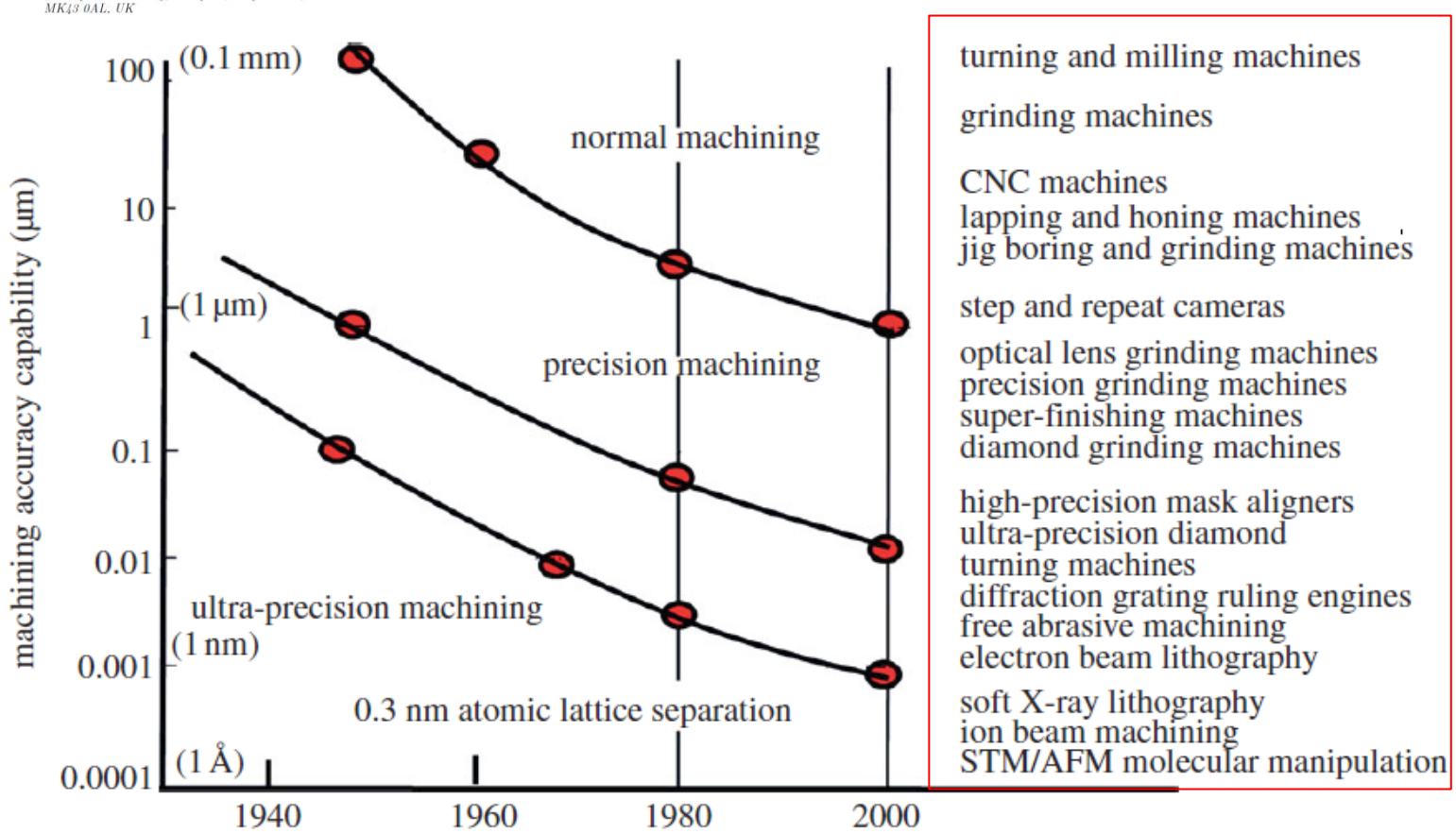


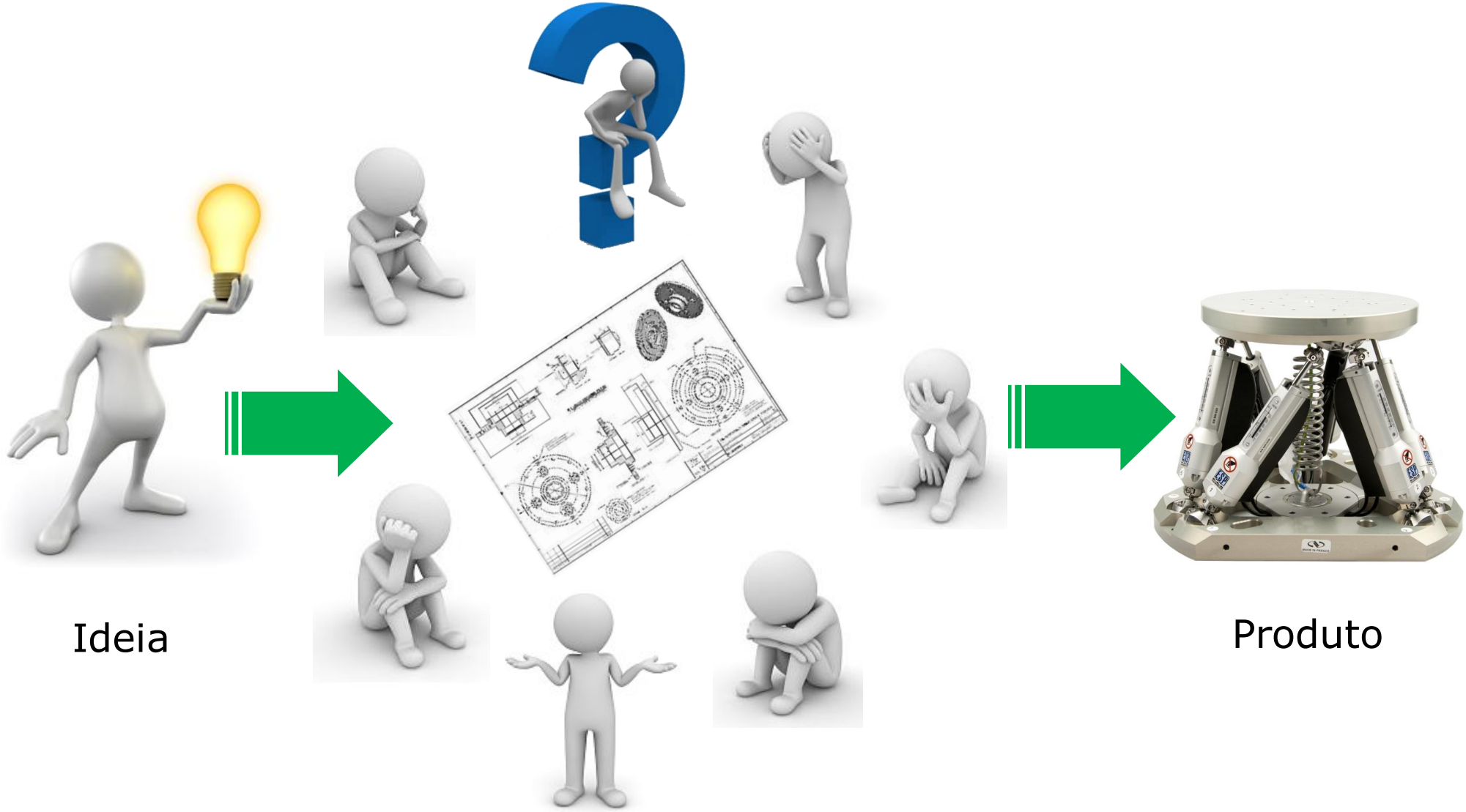
Figure 3. An interpretation of the Taniguchi curves, depicting the general improvement of machine accuracy capability with time during much of the twentieth century.

Fundamentos do projeto de precisão

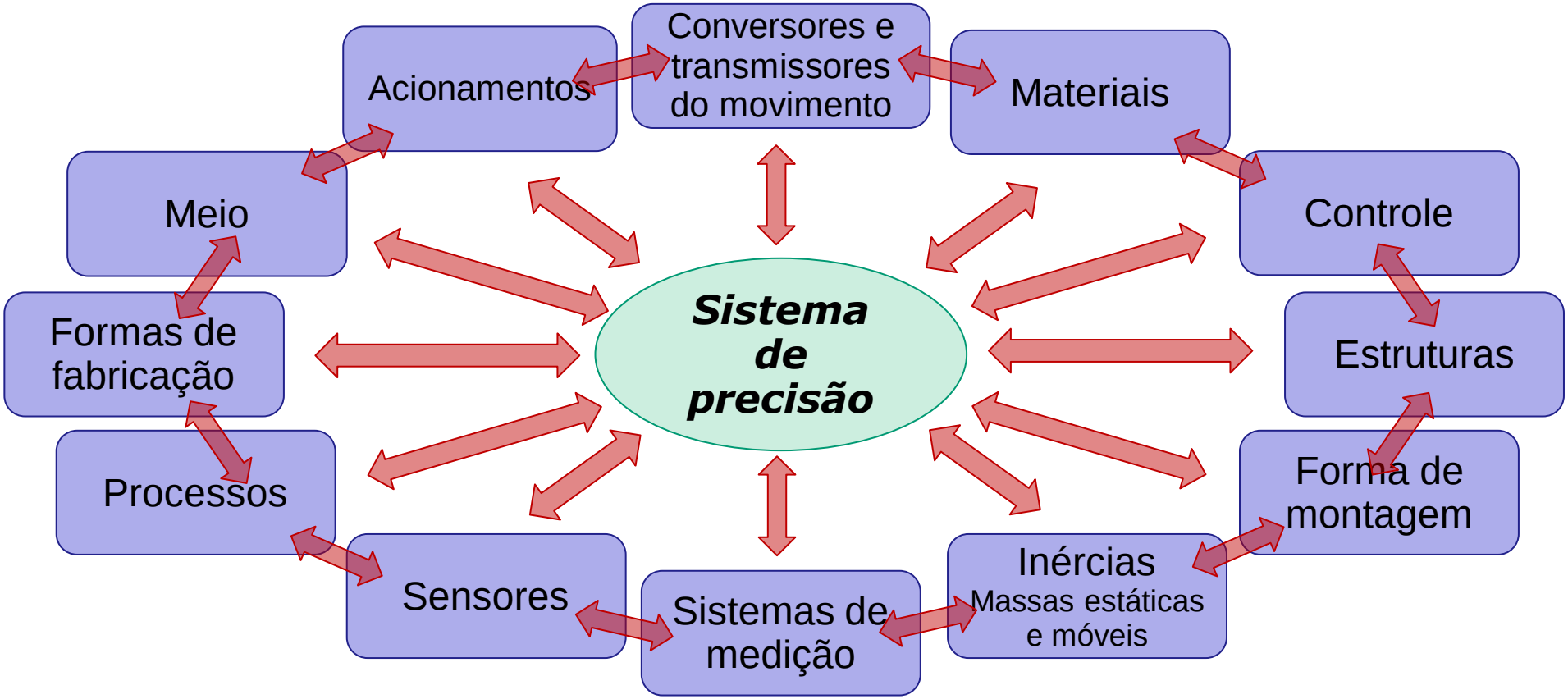
Ideia

Produto

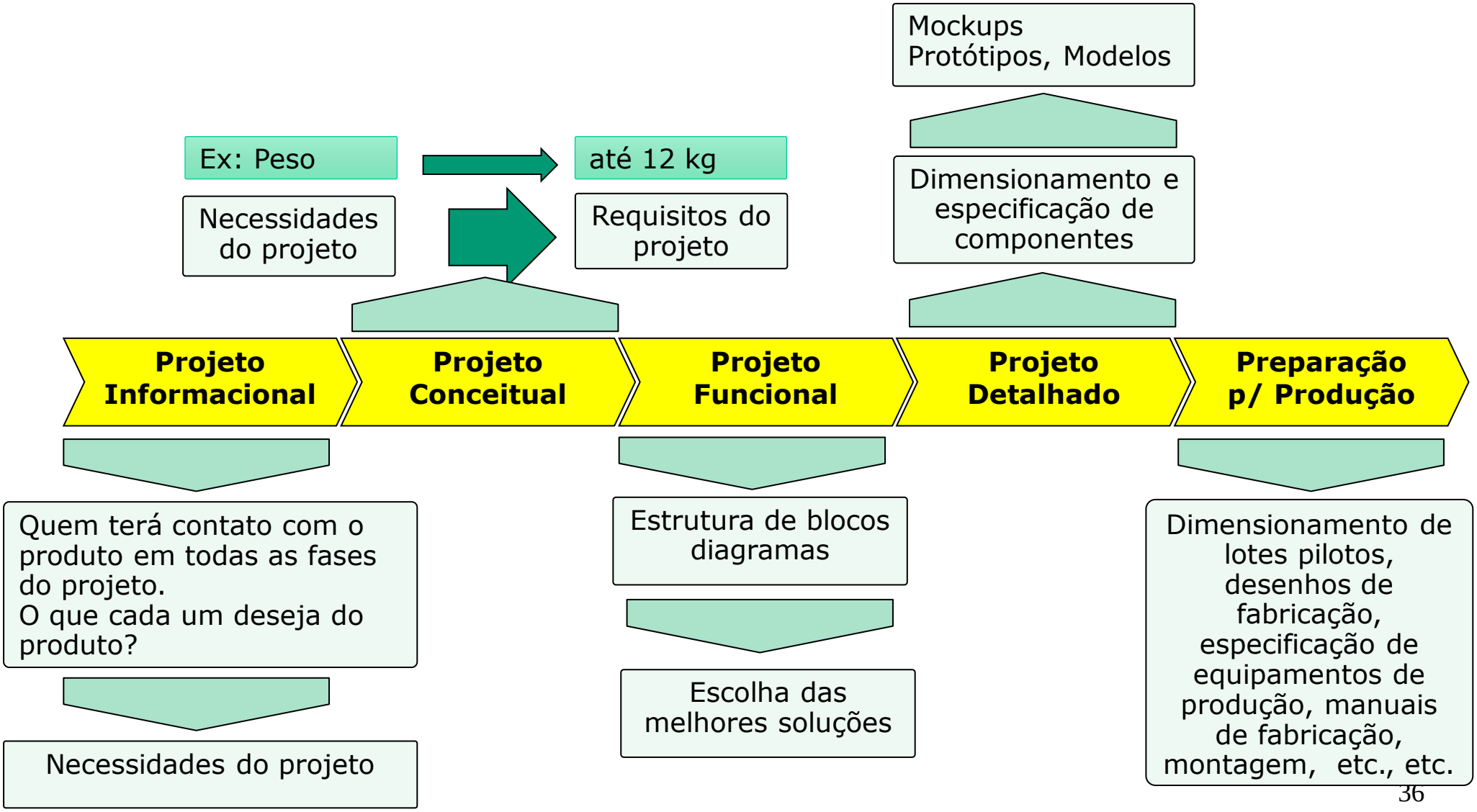
Fundamentos do projeto de precisão



Fatores que influência a precisão de um sistema

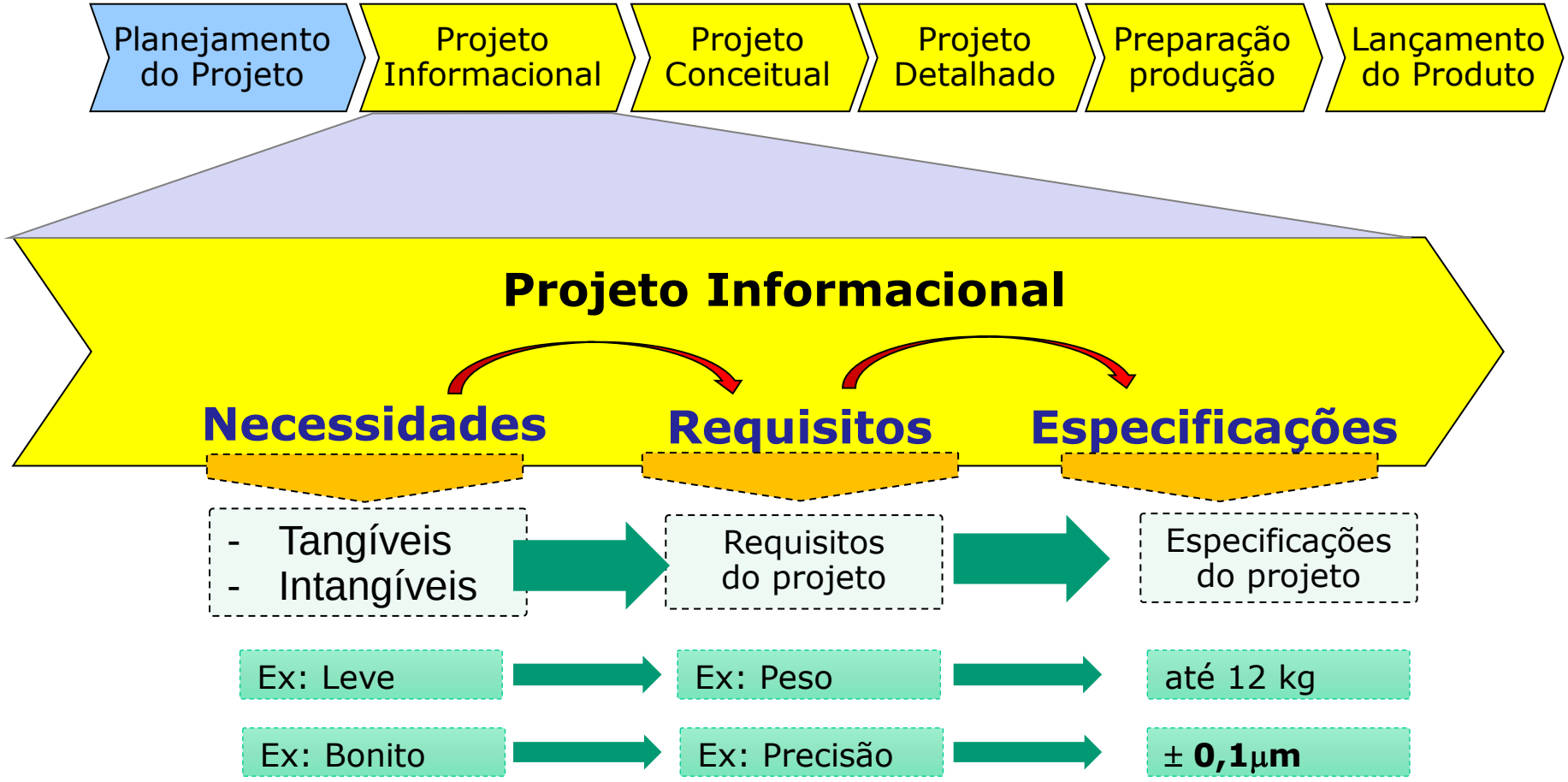


Processo de desenvolvimento de produto



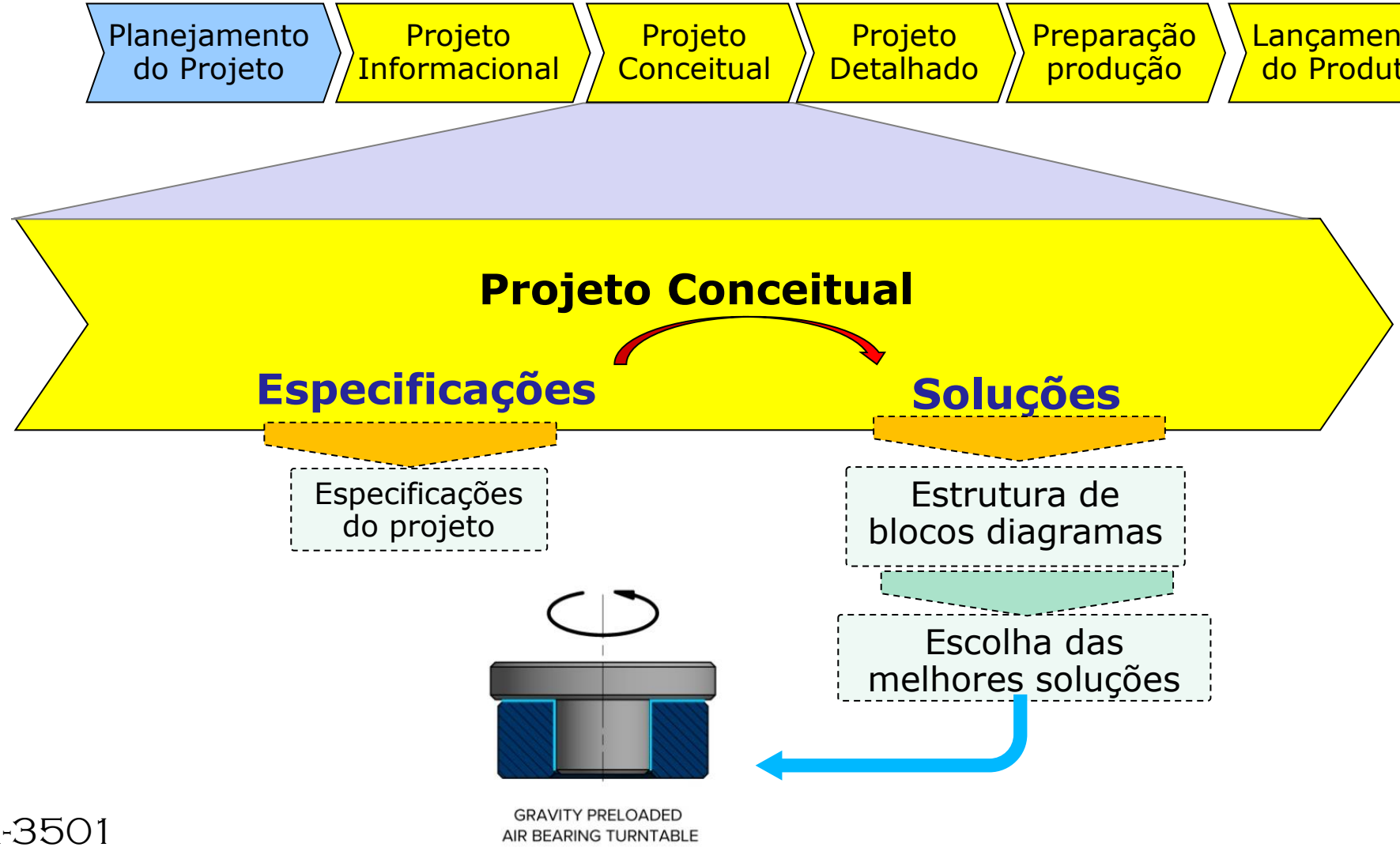
Fundamentos do projeto de precisão

Fases do desenvolvimento de um Projeto



Fundamentos do projeto de precisão

Fases do desenvolvimento de um Projeto



Fundamentos do projeto de precisão

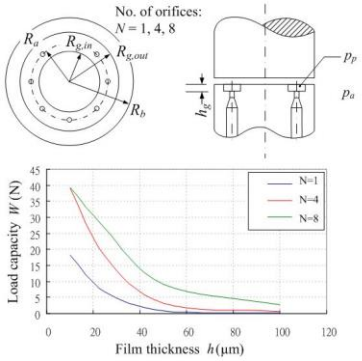
Fases do desenvolvimento de um Projeto

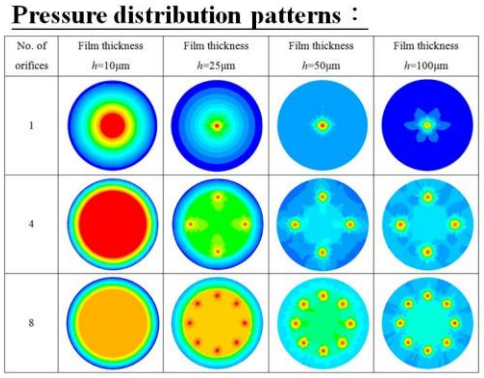
Planejamento do Projeto → Projeto Informacional → Projeto Conceitual → Projeto Detalhado → Preparação produção → Lançamento do Produto

Projeto Detalhado

Soluções → **Projeto de engenharia**

Melhore solução





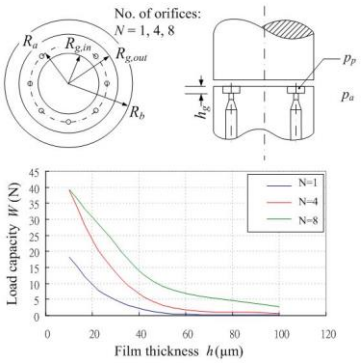
Fundamentos do projeto de precisão

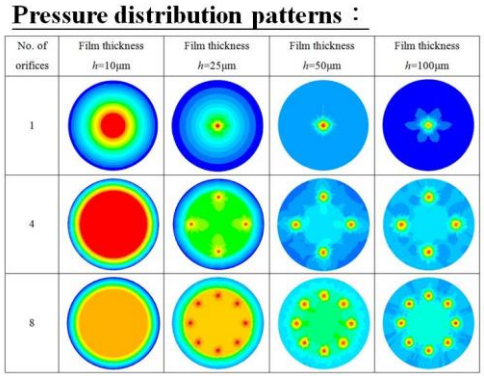
Fases do desenvolvimento de um Projeto

Planejamento do Projeto → Projeto Informacional → Projeto Conceitual → Projeto Detalhado → Preparação produção → Lançamento do Produto

Projeto Detalhado

Projeto de engenharia





Dimensionamento e especificação de componentes

Mockups
Protótipos
- Computacionais
- Analíticos
- Funcionais

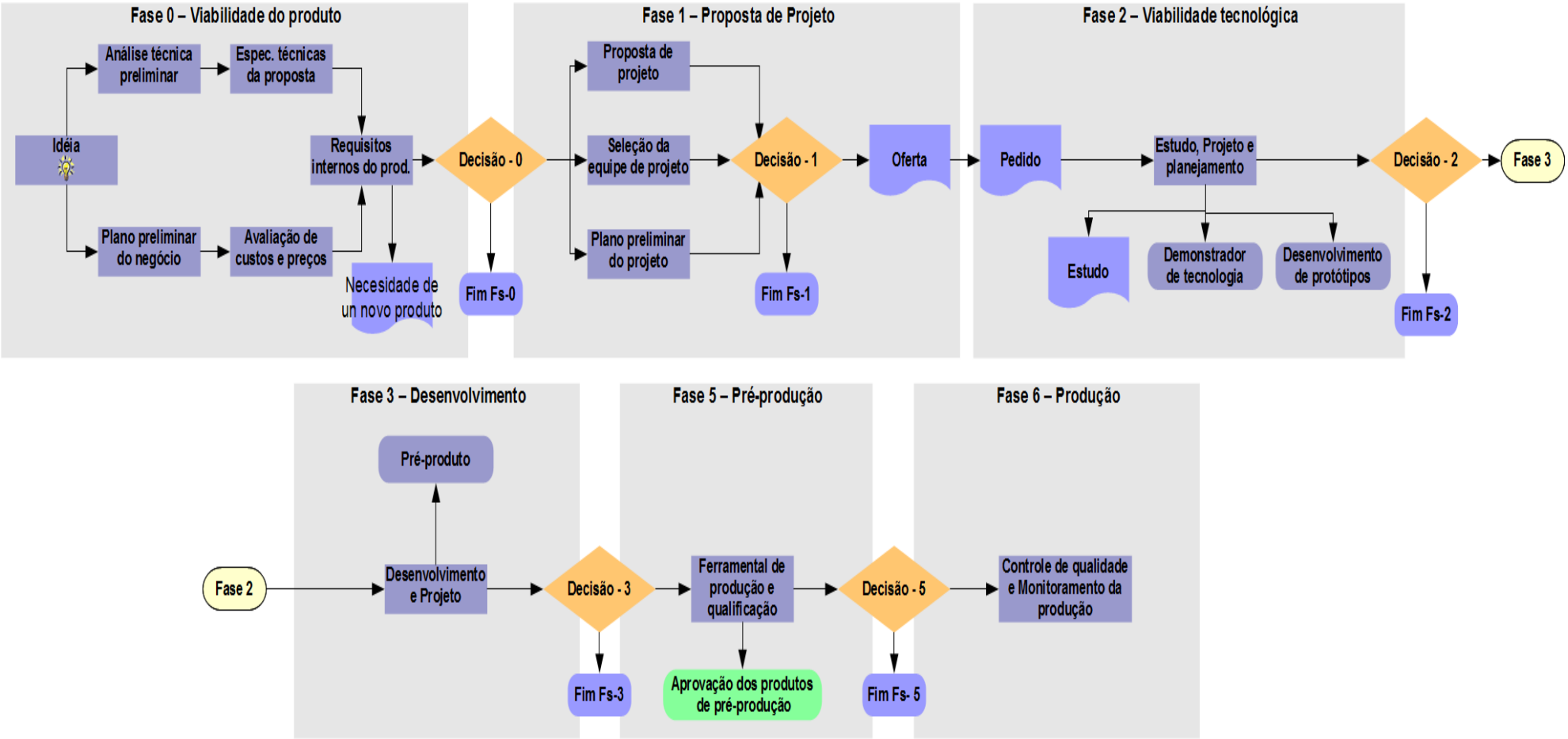
Desenhos de engenharia

Desenhos de fabricação

Documentação total (montagem, manutenção, manuais, testes, etc.)

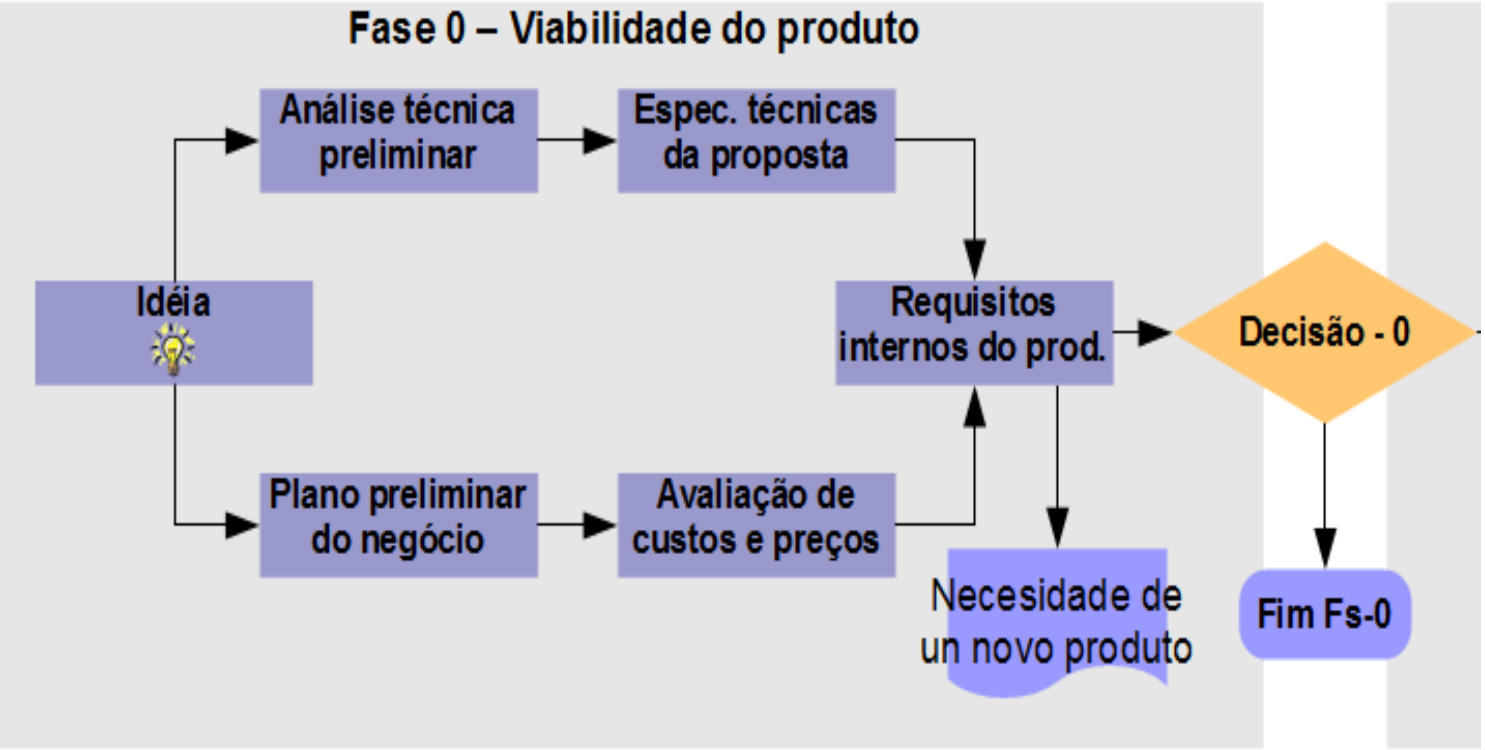
Fundamentos do projeto de precisão

Fases do projeto de sistemas de precisão



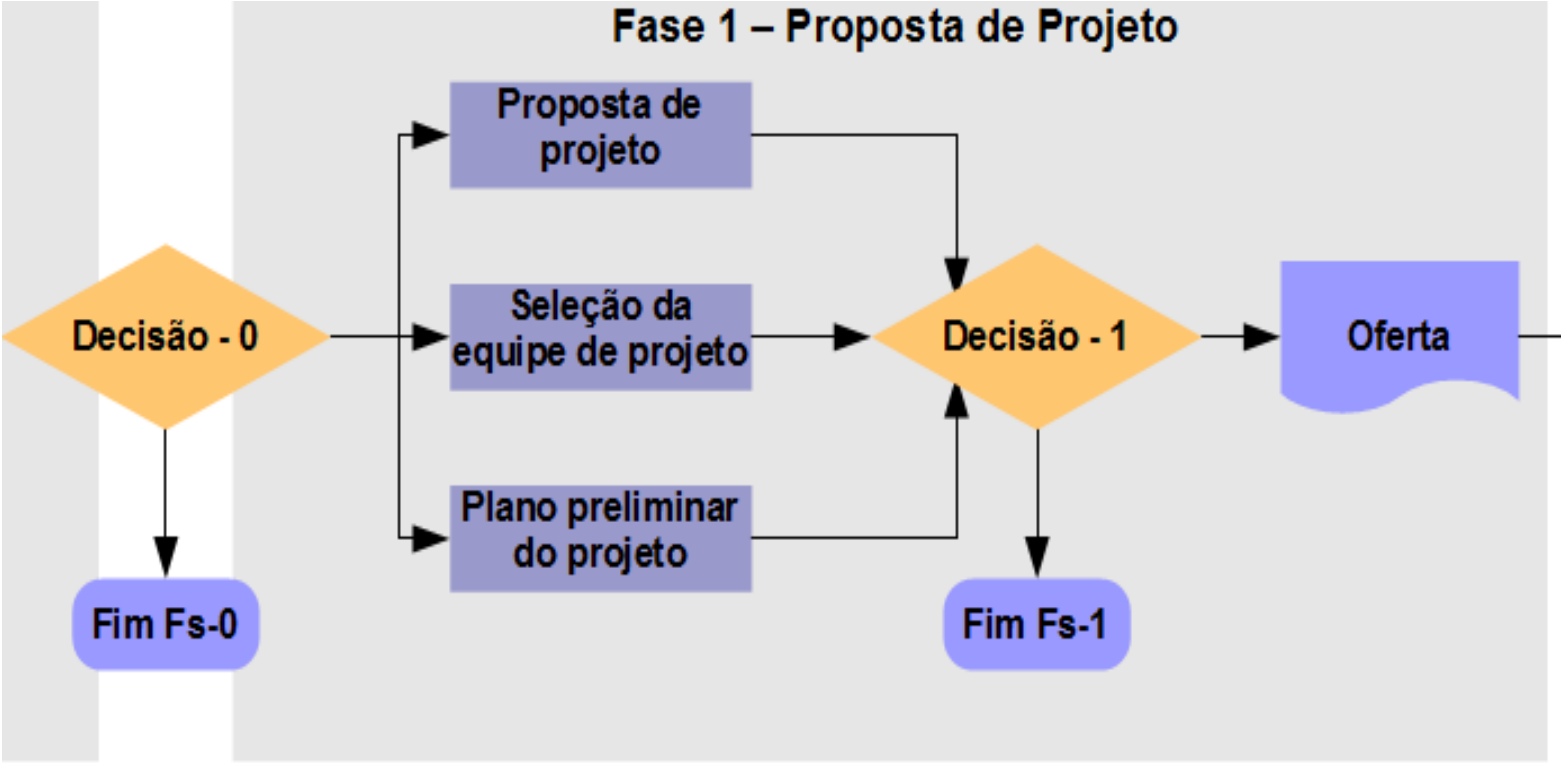
Fundamentos do projeto de precisão

Fases do projeto de sistemas de precisão



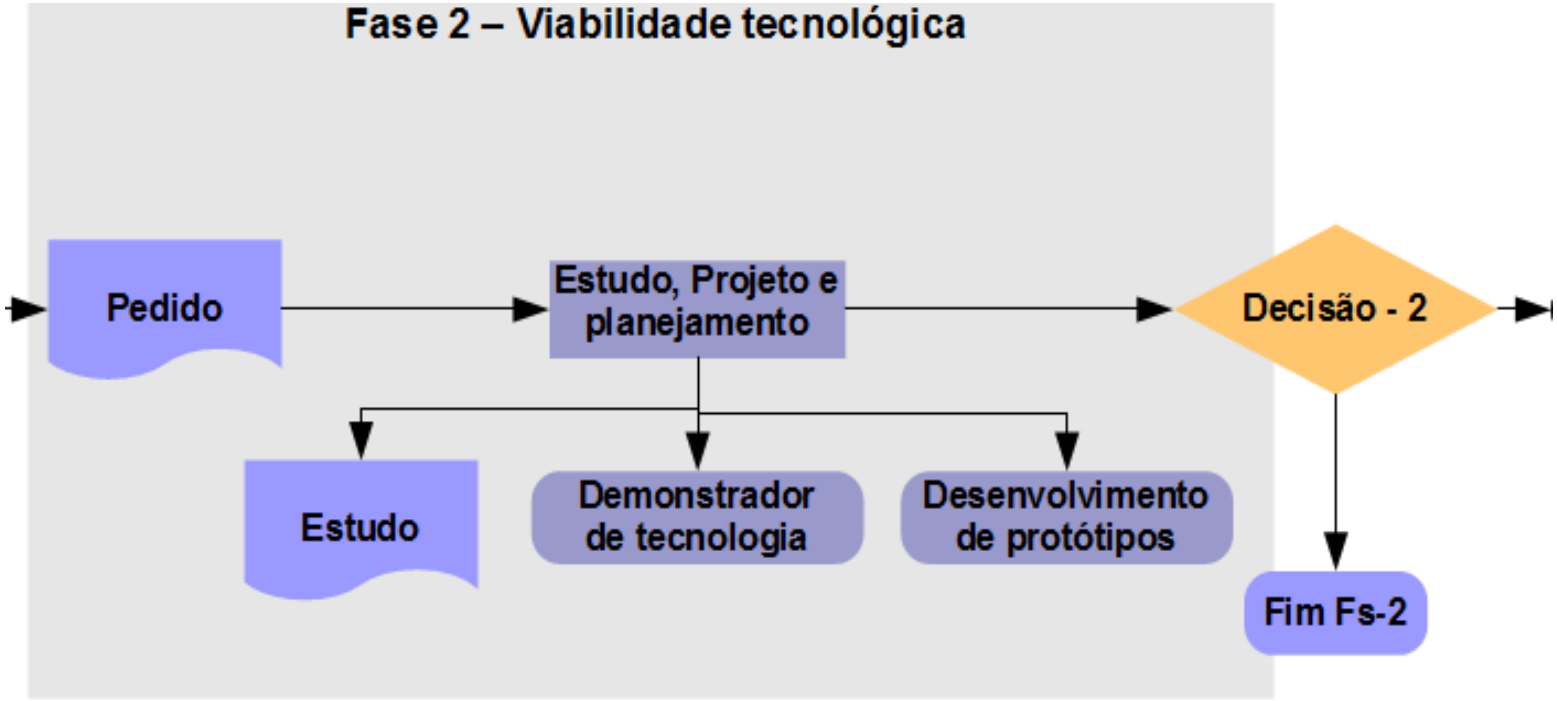
Fundamentos do projeto de precisão

Fases do projeto de sistemas de precisão



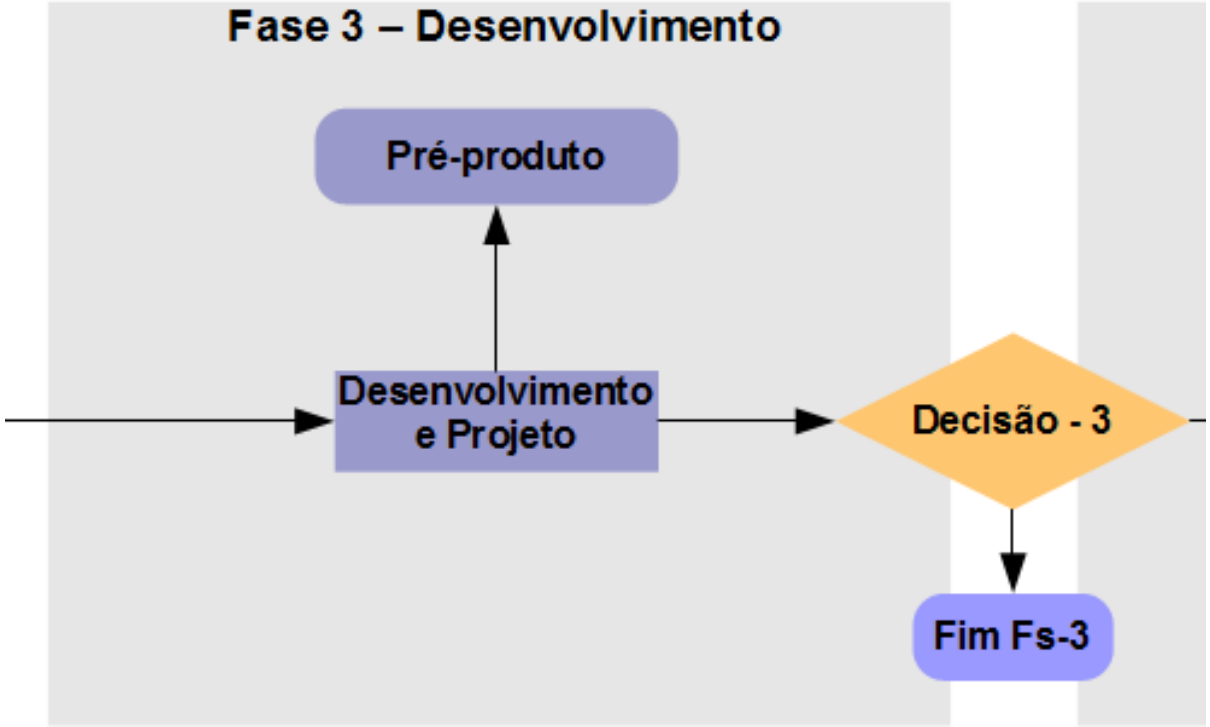
Fundamentos do projeto de precisão

Fases do projeto de sistemas de precisão



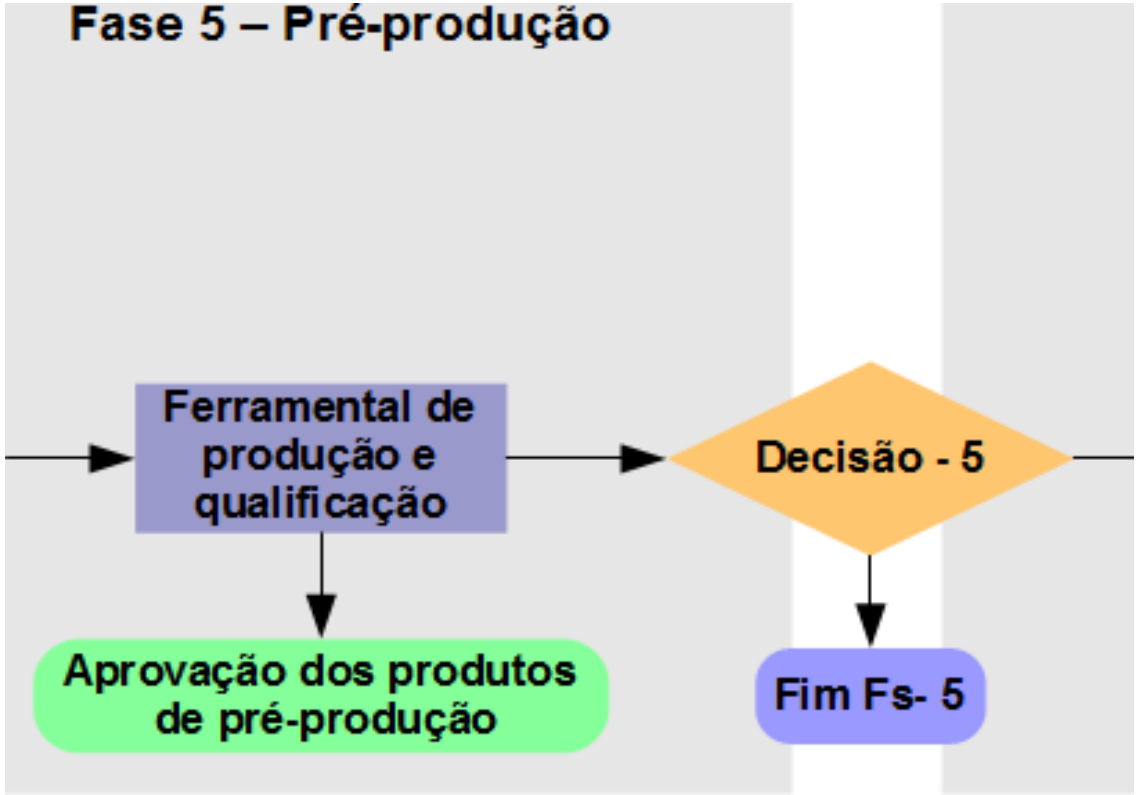
Fundamentos do projeto de precisão

Fases do projeto de sistemas de precisão



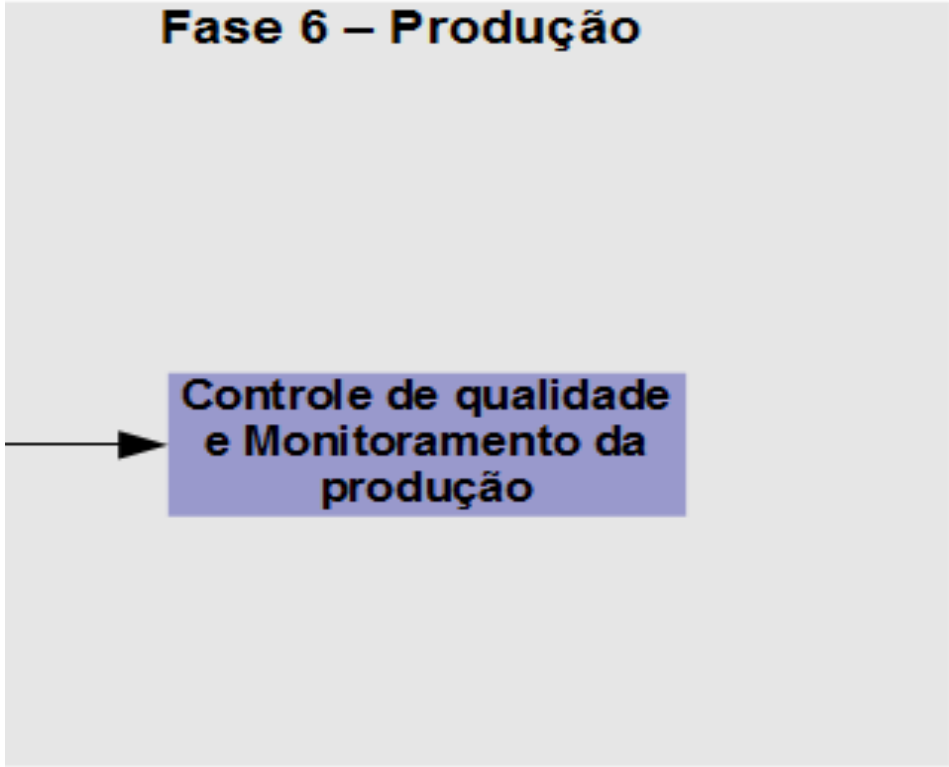
Fundamentos do projeto de precisão

Fases do projeto de sistemas de precisão



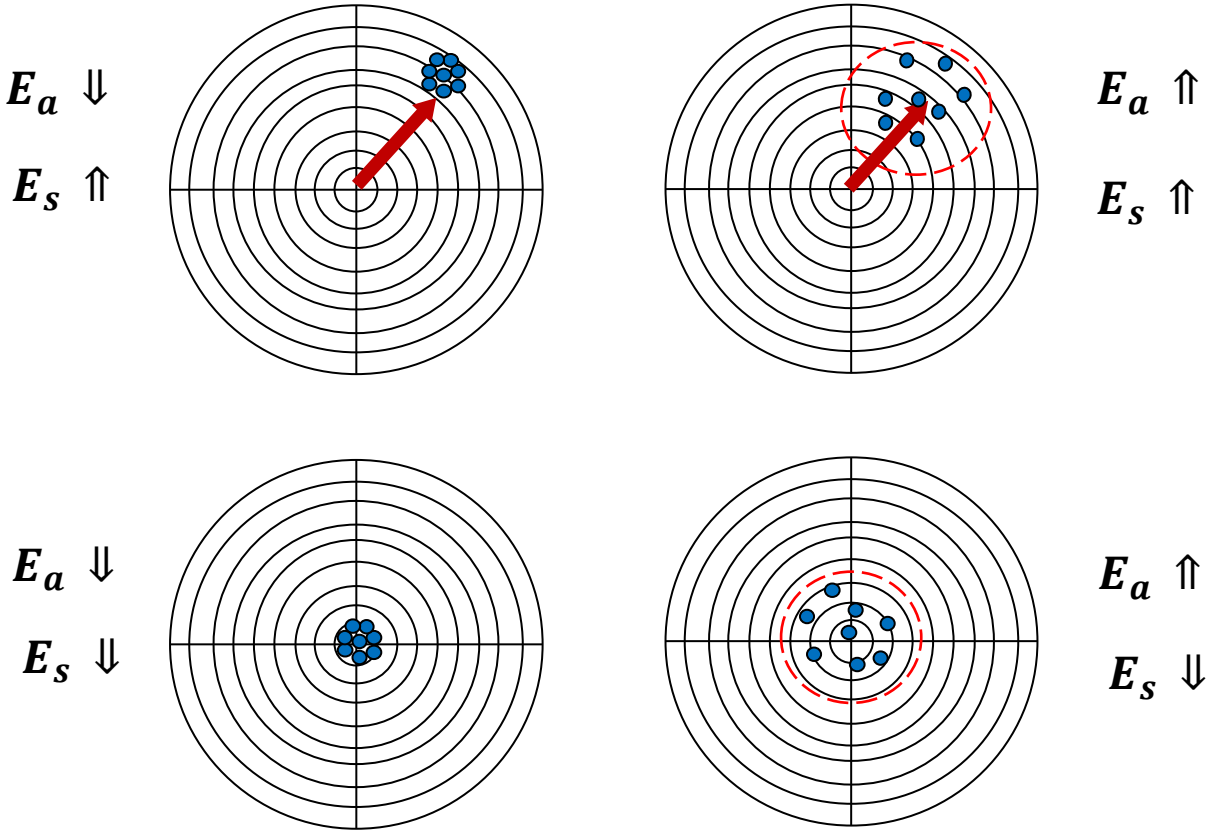
Fundamentos do projeto de precisão

Fases do projeto de sistemas de precisão



Exatidão (acurácia) e precisão

- São parâmetros qualitativos associados ao desempenho de um sistema.
- Um sistema com ótima precisão repete bem, com pequena dispersão.
- Um sistema com excelente exatidão praticamente não apresenta erros.



Questionamentos

1 - Por quê alta precisão?

2 – O que é ultra preciso hoje será amanhã?

3 – Porque é um conhecimento estratégico?

4 – As soluções de projeto convencionais podem ser aplicada em sistemas de precisão? Quais as consequências?

5 – As soluções de projeto de precisão podem ser aplicados em problemas convencionais? Quais as consequências?

6 – Porque um problema que envolva precisão precisa de uma abordagem holística?

FIM DA AULA 01