

*Mundus Mathematica* – ISEL, 22.ABR.2021

# **Desenvolvimento da Matemática numa Escola de Engenharia**

– Uma perspectiva pessoal –

Luis Magalhães, IST

Na abertura do ciclo de palestras *Mundus Mathematica* felicito a Área Departamental de Matemática do ISEL pela iniciativa e agradeço o convite de regressar ao ISEL passados >40 anos

## O tema tem duas faces:

- 1) Qual e como deve ser o **ensino** de Matemática numa Escola de Engenharia?
- 2) Que **oportunidades** oferece uma Escola de Engenharia para desenvolvimento da Matemática?

É claro que são ambas importantes.

- Irei mostrar que estamos em Portugal num **momento crucial** para clarificar e reequacionar **opções estratégicas** neste assunto
- O futuro da capacidade de **Portugal ser relevante** na Engenharia de Conceção Mundial **está em risco**, devido a redução da formação Matemática de estudantes de Engenharia
- Este risco dá **oportunidades diferenciadoras** a cada Escola de Engenharia que, a prazo, podem alterar radicalmente a sua importância relativa em Portugal

## Não é possível Engenharia de Concepção sem profundo conhecimento de ciências fundamentais:

- **Matemática** em todas áreas de Engenharia
- **Física** em todas, embora só residualmente em Eng. Informática e C. de Computadores
- **Química**, principalmente em Eng. Química ou de Materiais, Eng. Biológica ou Biomédica e Biotecnologia
- **Biologia**, principalmente em Eng. Biológica ou Biomédica, Biotecnologia

O conhecimento de **Matemática** necessário para **Engenharia de Concepção** não é apenas informativo ou de aplicação de fórmulas ou algoritmos.

Requer:

- **compreensão profunda dos conceitos**
- **conhecimento rigoroso das condições**  
em que podem ser aplicados
- **capacidade de os aplicar correctamente em situações novas**, por vezes c/ domínio técnico matemático avançado

## Por exemplo:

- Para Eng. Informática e C. de Computadores:  
Álgebra Linear, Álgebra Geral, Combinatória, Optimização, Análise Harmónica, Geometria
- Para Eng. Electrotécnica ou de Controlo:  
Álgebra Linear, Análise Matemática, EDOs, EDPs (incluindo em espaços de Sobolev), Sistemas Dinâmicos, Análise Harmónica, Análise Funcional, Cálculo de Variações, Geometria
- Para Eng. Mecânica ou Aeroespacial: *idem*
- Para Eng. Civil:  
Álgebra Linear e Multilinear, Análise Matemática, EDOs, EDPs, Análise Funcional, Cálculo de Variações

# Como era o ensino de Matemática em Portugal antes de “Bolonha” (2003) nas principais Escolas de Engenharia?

- **Oferta de preparação de base muito sólida nos 1º e 2º anos em:**  
Álgebra Linear, Análise Matemática de uma e várias variáveis reais, Análise Complexa de uma variável, Equações Diferenciais e Análise de Fourier, em alguns casos incluindo integral de Lebesgue, iniciação a distribuições, iniciação a Geometria Diferencial  
(pelo menos 5 disciplinas semestrais)
- **Ausência de oferta de preparação avançada em Matemática nos anos seguintes,** ao contrário de países avançados
- **A preparação de base sólida nos 1º e 2º anos era boa fundação para formação Matemática mais avançada** em pós-graduação no estrangeiro, em geral para Doutoramento, ou em estudo individual pelos alunos melhor preparados.

Era possível aos melhores alunos de Engenharia **doutorarem-se no estrangeiro em Matemática com grande sucesso**, apesar da pouca Matemática que dominavam em comparação com colegas originários de cursos de Matemática.

... e depois de “Bolonha” (2003)?

- **Redução do nº de disciplinas e da carga lectiva da oferta de preparação em Matemática nos 1º e 2º anos**, em geral **decréscimo da formação conceptual**, maior **orientação para informação e aplicação de fórmulas e algoritmos** c/ **redução da compreensão das condições** em que podem ser aplicados, e da **preparação p/ aplicações a situações novas** (“Análise Matemática” passou p/ “Cálculo Diferencial e Integral”).  
Redução de tópicos e do tempo de exercitar o que é ensinado (só 4 disciplinas semestrais, em geral inexistência de disciplinas de Matemática no último semestre do 2º ano e redução de horas de contacto em aulas práticas relativamente a teóricas)
- **Continuação de ausência de oferta de preparação avançada em Matemática nos anos seguintes**, ao contrário de países mais avançados científica e tecnologicamente, que a reforçaram com “Bolonha”.

**Resultado:** Cada vez mais comum **os melhores alunos saírem para o estrangeiro** após o 3º ano à procura de ensino mais interessante e avançado, com **perda de TALENTO em Portugal** e ganho nesses países.

# O risco emergente:

O IST decidiu uma Reforma Curricular c/ **erros de Lesa-Pátria** a iniciar SET 2021:

- **Organização das disciplinas dividindo ao meio os semestres escolares**  
(7 semanas cada!)
- **Interrupção das aulas após 7 semanas por 2 semanas**  
(1 para estudo e outra para avaliação só das disciplinas que não continuam)
- **Redução da formação em Matemática e em Física**  
(em Matemática **deixa-se de leccionar Análise Complexa (!!!)**, apesar do Dept. de Matemática ter concebido uma disciplina de 7 semanas para o efeito, **não foi subscrita** por qualquer dos cursos de Engenharia e até pelo de Física. Foi necessário **simplificar** os programas das disciplinas para se ajustarem ao corte de 1/5 das horas de contacto de Álgebra Linear + Análise Matemática)
- **Redução das horas de contacto semanais em cada disciplina**  
(As 2 disciplinas do 1º Semestre do 1º ano tinham semanalmente 4,5h e as 2 seguintes (2ºS do 1º ano e 1ºS do 2º ano) tinham 5,5h. Passa tudo para 4h)
- **Fim dos testes em ambiente de exame escrito** durante o período de aulas.  
**≥50% da classificação final por avaliação contínua**, em cada disciplina.



Como fica a formação básica geral em Matemática de estudantes de Engenharia no IST em comparação com a *EPFL Lausanne*?

- Antes de “Bolonha”: **Idêntica**,  
mas na EPFL havia ensino de Matemática mais avançada depois do 2º ano, dependente da área de Engenharia
- Depois de “Bolonha”: **No IST <75% da EPFL**,  
e na EPFL com reforço do ensino de Matemática mais avançada no 2º ciclo de “Bolonha” o que não existiu no IST
- Com a Reforma do IST em 2021: **No IST <65% da EPFL!**  
e na EPFL com ensino de Matemática mais avançada no 2º ciclo de “Bolonha”.

É semelhante com *ETH Zürich*.

Porquê estes 2 exemplos?

São 2 das 4 melhores Escolas de Engenharia da Europa em qualquer *ranking*.

# Atendendo

- à proeminência do IST no País na maioria das áreas de Engenharia,
- ao passado das Faculdades de Engenharia seguirem o IST em mudanças curriculares,
- às tendências corporativas nessas Escolas de aumentarem a formação nas especialidades à custa de diminuírem a nas Ciências Básicas por razões de distribuição de poder interno,

Há **grande risco** dos **erros do IST alastrarem** em Portugal, levando **à irrelevância do País** em Eng. de Conceção e **relegando Portugal para subalterno na Engenharia internacional.**

## **A oportunidade emergente:**

outras Escolas de Engenharia têm a **grande oportunidade diferenciadora** de adoptarem **estratégias de reforço da formação básica**, sobretudo em **Matemática**, mas também em **Física**, virada para as necessidades da Eng. de Conceção, aproveitando o nicho deixado vazio pelo IST e por Escolas que o sigam na Reforma Curricular de 2021 e **prestando grande serviço ao País.**

Independentemente disto, quais devem ser os principais objectivos da formação Matemática de alunos de Engenharia?

O mais importante é que seja **boa fundação para estudos mais avançados ao longo da vida:**

- **Formação básica sólida** (deve ficar bem resolvida, sem compromissos, i.e. sem requerer aprofundamento dos conceitos básicos mais tarde)
- **Compreensão profunda dos conceitos**
- **Conhecimento rigoroso das condições** em que podem ser aplicados
- **Limitações de tempo de ensino nunca** devem ser supridas **enfraquecendo estes objectivos**, mesmo por razões de utilidade para outras disciplinas (o importante são os alicerces para aprender ao longo da vida; o que parece utilitário hoje torna-se frequentemente inútil amanhã)
- Na escolha de tópicos o único critério sólido é considerar os que revelaram **maior fertilidade historicamente**.

# A outra face: Que oportunidades específicas oferece uma Escola de Engenharia para desenvolvimento da Matemática?

- Encontram-se com mais facilidade alunos Muito Bons, com grande curiosidade científica e iniciativa
- Várias aplicações de Engenharia motivaram e motivam importantes desenvolvimentos em Matemática (por vezes ligadas a Física, mas nem sempre), e.g. análise de sistemas e controlo, processamento de sinal, optimização, electromagnetismo, fluídos, elasticidade, combustão, processos de difusão-propagação-reacção, encriptação, códigos, análise de redes, compressão de imagem, gráfica computacional
- Quem faz I&D em Engenharia necessita muitas vezes de Matemática avançada e precisa de apoio
- É importante cultivar certas áreas da Matemática em Escolas de Engenharia, e.g. Análise Numérica, Equações Diferenciais e Sistemas Dinâmicos, Cálculo de Variações, Análise Harmónica, ...

# Experiência pessoal em iniciativas no IST em 1983-97

O Departamento de Matemática do IST era antes de 1983 um **departamento de serviço de ensino** de alunos de Engenharia.

Impunha-se transformá-lo num **departamento de investigação e ensino e com ensino específico em Matemática**.

Regressei dos EUA ao IST, após 4 anos na *Brown U.* para *PhD* e 1 ano no notável *IMA – Institute for Mathematics and Its Applications, U. Minnesota*, um dos 2 institutos de Matemática criados nesse ano pela *NSF – National Science Foundation* (o outro na *U. California – Berkeley*), literalmente com uma ***check-list To Do*** preparada na viagem de regresso.

O **único** factor determinante da **qualidade científica e de ensino** é **TALENTO** – atrair, estimular, dar condições para florescer e manter **TALENTO**.

Além disto, só é preciso ter objectivos universalmente ambiciosos – **visar alto, puxar a fasquia para cima, e assegurar diversidade** (de áreas científicas, origem de Profs e alunos, orientadores, iniciativas, ... ), e muito trabalho e exigente ***accountability***.

# A *check-list To Do* incluía, entre outros exemplos:

(só possível concretizar em equipa eficiente e eficaz c/ Manuel Ricou, regressado da *U. Minnesota* em 1983, e Carlos Rocha, regressado da *Brown U.* ao IST em 1985)

- Iniciar um **Grupo de investigação** em Sistemas Dinâmicos e Mecânica dos Meios Contínuos que pudesse evoluir para um Centro de Investigação, a partir do ensino de disciplinas avançadas de preparação p/ doutoramento no Mestrado de Matemática Aplicada do IST (de 2 anos após 5 anos universitários), que começou em 1983 e de atracção de estudantes promissores. Foi iniciado em 1984, resultou em 1990 no actual CAMGSD – Centro de Análise Matemática, Geometria e Sistemas Dinâmicos.
- **Remodelar** profundamente o programa de Análise Matemática III e IV (2º ano dos cursos do IST), de que fui o Responsável em 1983/84, 1984/85, **modernizando-o**, reforçando **Geometria** e **Eqs. Diferenciais**, introduzindo **aplicações** a Física e Engenharia, **aumentando o rigor**, c/ atenção a **estimular os melhores alunos**, introduzindo **Provas Orais** p/ alunos c/  $\geq 18$  em provas escritas. As Orais não visavam avaliar a apreensão da matéria, mas como era aplicada em problemas novos. Foram um **instrumento muito eficaz** de **estímulo** dos melhores alunos. Muitos dos actuais Profs. do Dept. fizeram-nas com **grande entusiasmo**.

→ Iniciar um **Honours Course** paralelo a **Análise Matemática III** em regime **voluntário** (a que chamei **Turma Especial**), com o mesmo programa geral, mas **mais avançada**, incluindo integral de Lebesgue, variedades diferenciais e formas diferenciais, com os alunos a terem de **resolver problemas difíceis** em casa e apresentarem as resoluções em aula.

Começou em 1984, atraindo alguns alunos de Engenharia, incluindo vários matemáticos hoje bem conhecidos (Rui Loja Fernandes, Ana Canas da Silva, Miguel Abreu, e depois outros) e manteve-se até “Bolonha” (ap. 20 anos).

Ofereci depois outras **Turmas Especiais**: de Álgebra Linear 1992/93, de Análise Matemática IV (Análise Complexa e Equações Diferenciais) de 2002/03 a 2004/05.

→ Criar quase do zero uma boa **Biblioteca de Matemática no IST**, procurando que a melhor biblioteca de monografias de Matemática no País, a do extinto C. de Cálculo Científico do Instituto Gulbenkian de Ciência, que conhecia muito bem, fosse doada pela FCG ao Dept. de Matemática do IST (concretizada em 1984; a Biblioteca foi depois alargada c/ periódicos c/ apoio de um Projecto de Infraestruturas de C&T e depois pelos Centros apoiados pela FCT)

→ Iniciar o **Seminário de Sistemas Dinâmicos e Mecânica de Meios Contínuos**, com sessões semanais e oradores convidados internacionalmente (iniciado em 1985, evoluiu p/ o seminário do CAMGSD)

→ Organizar conferências de relevância internacional no IST

Em 1986: *NATO ARW on Dynamics of Infinite Dimensional Systems*.

Em 1995: *Equadiff95*.

→ Criar uma **Licenciatura em Matemática** fortemente inovadora:

- **em Ciências Matemáticas** num sentido amplo, abrangendo **Estatística e Teoria de Computação**, além das áreas de Matemática *stricto sensu*
- **Permitindo especializações** em (1) Matemática, (2) Probabilidade e Estatística, (3) Teoria de Computação, pela concentração em perfis de disciplinas opcionais oferecidas pelo Dept. de Matemática após o 2º ano
- **de 5 anos**, quando licenciaturas de Matemática no País eram de 4 anos
- **com forte e diversificada ligação a Engenharia**  
através das possíveis escolhas de um grande nº de disciplinas opcionais a escolher individualmente para cada aluno dos outros cursos do IST em **Planos de Estudo individuais** a aprovar pelo Professor Coordenador da Licenciatura
- **com apenas 4 disciplinas simultâneas, cada uma c/ 5 horas de aulas semanais**, para os alunos não se dispersarem excessivamente

Este modelo foi concebido para **assegurar ampla empregabilidade** dos licenciados, como se verificou, e **ligação da Matemática à Engenharia**.

Em 1986 iniciou-se a LMAC – Licenciatura em Matemática Aplicada e Computação



O modelo da LMAC foi **pioneiro** em âmbito internacional e recebeu reconhecimento e admiração no estrangeiro de destacadas individualidades.

“Bolonha” inviabilizou o modelo, levando a LMAC a passar a curso de 3 anos (i.e. ao que se chamava em Portugal Bacharelato) e o antigo Mestrado de Matemática Aplicada deixou de ser um curso de pós-graduação após 5 anos universitários e passou a designar os 2 últimos anos da antiga LMAC. As opções de cursos de Engenharia foram reduzidas a um nº negligível.

Foi um **enorme retrocesso** em toda a linha.

Uma iniciativa **pioneira** de valor internacional, com características diferenciadoras e **internacionalmente competitiva**, foi completamente **anulada** e descaracterizada.

**A LMAC é actualmente um excelente 1º curso universitário** na parte de Ciências Matemáticas inicialmente considerada, **mas agora só de 3 anos.**

Cortaram rente as asas à ambição inicial!

Já não voa alto internacionalmente.

**Seria interessante alguém recuperar os melhores ingredientes deste modelo.**

# Voltando à continuação da *check-list To Do* inicial:

- Continuando o item de **remodelação de disciplinas**, em preparação do início da LMAC, em 1985 iniciei a **modernização de Álgebra Linear**. Assumi a Responsabilidade de Álgebra Linear, alterei radicalmente o programa, produzi “folhas” em fascículos semanais para docentes e alunos que depois evoluíram para o meu livro “Álgebra Linear como Introdução a Matemática Aplicada” (internacionalmente inovador na altura) e, para garantir que o corpo docente tradicional da disciplina seguia as novas orientações, introduzi **avaliação contínua por quizzes semanais nas aulas práticas** c/ todos enunciados preparados por **3 sólidos aliados** que leccionavam Análise Matemática e convenci a darem Álgebra Linear nesse ano e a aceitarem o trabalho de **fazerem os enunciados dos quizzes p/ todas as turmas** em missão de Serviço.
- **Iniciação de estudantes de licenciatura a investigação**. Em 1985/86, **Laboratório de Computação em Sistemas Dinâmicos**. Em 1988, **Seminário de Métodos da Teoria de Sistemas Dinâmicos Não Lineares**, com pouco mais de 10 alunos da LMAC e de Eng. Física Tecnológica. Vários alunos consideraram este seminário uma experiência inesquecível que lhes abriu uma janela para o mundo da investigação corrente numa fase precoce de aprendizagem. São **todos** Professores de Matemática no IST ou outras universidades.

## → Obtenção de financiamento externo para actividades de investigação:

Em 1988-90: 2 projectos de I&D pela JNICT, um liderado por Carlos Rocha e outro por mim.

Em 1990: 2 Projectos de Infraestruturas de C&T (em conjunto ap. 1,5 milhões de euros):

- Centro de Análise Matemática, Sistemas Dinâmicos e Aplicações a Engenharia (líder: LM)
- ISR – Instituto de Sistemas e Robótica

(IST, U. Coimbra e U. Porto, e no IST Profs. do Dept. de Eng. Electrotécnica e do Dept. de Matemática do Grupo de Sistemas Dinâmicos e Mecânica dos Meios Contínuos; eu fui co-fundador (c/ João Sentieiro) e Sub-Director do ISR-Lisboa).

Estes 2 projectos permitiram equipar computacionalmente uma grande parte do Dept. de Matemática e financiar assinaturas de periódicos p/ a Biblioteca de Matemática, mas sobretudo foram **determinantes para conseguir o actual edifício da Matemática no IST**. Seguiram-se vários outros projectos com financiamento externo.

## → Envio Assistentes e Assistentes Estagiários do Dept. de Matemática para *PhD* no estrangeiro

Na década de 1987 a 1997, **29 docentes** da Secção de Álgebra e Análise foram realizar o Doutoramento no estrangeiro com Equiparações a Bolseiro, e na década seguinte **mais 8**.

Estes 37 doutoramentos foram em universidades muito diversas:

**26 nos EUA** (4 Stanford, 3 SUNY, 3 Wisconsin, 2 MIT, 2 Berkeley, 2 Carnegie Mellon, 2 Minnesota, 1 em Princeton, Harvard, Columbia, NYU, Penn State, Georgia Tech, John Hpkins, Houston).

**11 na Europa** (3 Oxford, 2 Warwick, 2 Heriot-Watt), 2 Chemitz, 1 Paris VI, 1 Cardiff)

## Paralelamente:

No dia seguinte a regressar a Portugal em 1983, fui falar com o Professor Campos Ferreira que me disse que estava ansioso pelo meu regresso porque queria que eu o substituísse como **Coordenador da Secção de Álgebra e Análise**, i.e. responsável pela contratação e atribuição de serviço de docentes de **3/4 do Dept. de Matemática**

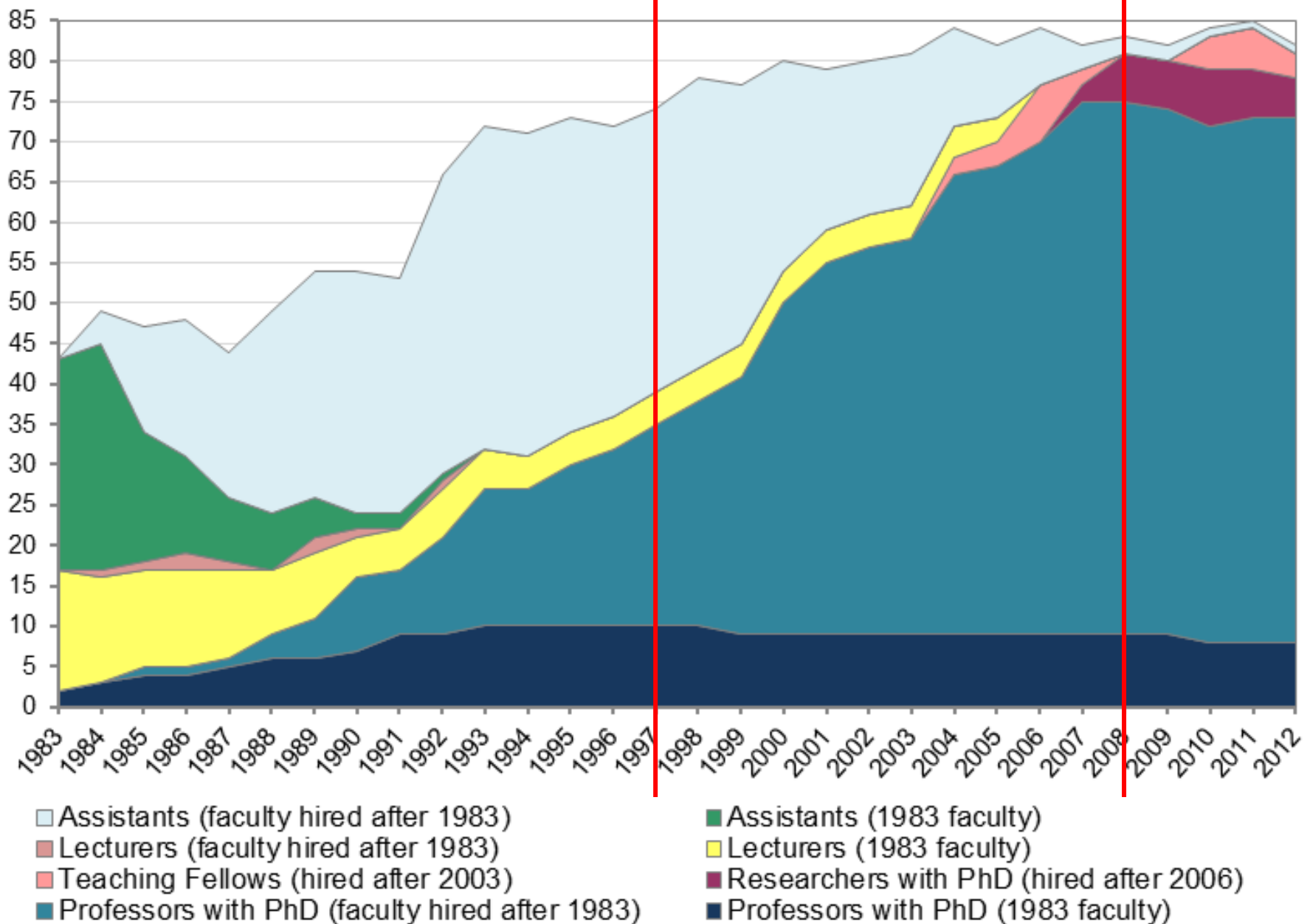
(todas áreas excepto Probabilidade e Estatística, Análise Numérica, Teoria de Computação).

Esta vontade do Professor Catedrático da Secção de passar-me esse testemunho **apenas 1 ano depois de me doutorar** e sendo eu um principiante Professor Auxiliar é estranha, mas pode ser percebida sabendo que o Professor Campos Ferreira assegurou essa função solitariamente durante 22 anos e eu era o 1º Doutoramento da Secção. Exerci o cargo de SET 1983 ao fim de 1989. Fui então eleito Presidente do Dept., que fui durante 7,5 anos até em JUL 1997 ir para Presidente da FCT, e nesse período continuei muito envolvido na contratação de docentes da Secção de Álgebra e Análise.

**Nos 14 anos de 1983 a 1997 o nº de docentes da Secção passou de 44 para 75; houve contractos com 277 pessoas (!!!), c/ entradas e saídas do Dept. à procura de reter pessoas promissoras. Dos 44 docentes de 1983 restaram só 14 em 1997 e 9 em 2006.**

**Cá está:** “O único factor determinante da **qualidade científica e de ensino é TALENTO** – atrair, estimular, dar condições para florescer e mantê-lo. Além disto, só é preciso ter objectivos universalmente ambiciosos – **visar alto e puxar a fasquia para cima** c/ trabalho e *accountability*.”

# Evolução dos Docentes da Secção de Álgebra e Análise em 1983-2012



# CONCLUSÃO

É possível melhorar radicalmente num período não muito longo com  
Estratégia, Alianças, Persistência, Muito Trabalho

O essencial é

Atrair, Estimular, dar condições para Florescer e Manter

# TALENTO

Além disto, só é preciso

objectivos universalmente ambiciosos – visar alto e erguer a fasquia  
com Muito Trabalho e *Accountability*

Há uma **OPORTUNIDADE** escancarada  
em Matemática

para ser aproveitada por Escolas de Engenharia