

Para uma Vida Cheia de Energia

Maria Da Graça Carvalho

Academia das Ciências, 1 de Julho de 2010

Conteúdo da Apresentação

- Energia – Um dos Desafios do Século XXI
- Desafios do Sector Energético
 - ✓ Segurança de Abastecimento
 - ✓ Competitividade
 - ✓ Qualidade do Ar
 - ✓ Alterações Climáticas
- Resposta Europeia aos Desafios
 - ✓ Resposta Europeia aos Desafios do Sector Energético
 - ✓ O Papel das Tecnologias
 - ✓ Campos de Actuação
 - ✓ Potencial das Tecnologias
 - ✓ Nova Visão para a Europa
- A Minha Contribuição Científica ao longo de 30 Anos
 - ✓ Metodologia de Estudo
 - ✓ Ciências de base
 - ✓ Modelos Físicos
- Infra-estruturas Científicas Desenvolvidas no IST
 - ✓ Laboratório de Combustão
 - ✓ Laboratório de Hidrogénio

Conteúdo da Apresentação

- **Investigação desenvolvida no IST**
 - ✓ **Investigação Fundamental e Tecnologias Inovadoras**
 - Modelação de Transferência de Calor por Radiação
 - Propriedades Radiativas da Fuligem
 - Modelação de Equipamentos de Combustão Industrial
 - ✓ **Geração Limpa de Energia**
 - Combustão Limpa – Carvão
 - Combustão Limpa – Fuelóleo
 - Hidrogénio e Pilhas de Combustível
 - ✓ **Utilização / Eficiência Energética**
 - Indústria do Vidro
 - Transportes
 - Edifícios
 - Integração de renováveis e eficiência energética
 - ✓ **Sustentabilidade e Alterações Climáticas**
 - Políticas de Energia e Planeamento Energético
 - Políticas de Energia e de Alterações Climáticas para o Desenvolvimento
 - Promoção de Tecnologias Energéticas Sustentáveis
- **Intervenção nas Políticas**
- **Conclusões**

Energia – Um dos Desafios do Século XXI

- A Europa precisa de maior **segurança no abastecimento** e portanto será necessário diversificar as fontes de energia.
- A eficiência de utilização dos recursos em geral, e da energia em particular, está na base da **competitividade** da sociedade Europeia. O sector energético europeu possui um enorme potencial para a implementação de tecnologias limpas em países terceiros e terá uma contribuição decisiva na criação de emprego e no crescimento económico europeu.
- A **qualidade do ar** é essencial para a saúde e bem estar dos cidadãos. Algumas emissões resultantes da combustão de combustíveis fósseis são nocivas para a saúde (e.g. NO_x e partículas).
- Só será possível atingir os objectivos da luta contra as **alterações climáticas** com um grande esforço concertado no sector energético

Desafios do Sector Energético

Década 80
Década 90
Século XXI

Segurança de Abastecimento

Competitividade

Qualidade do Ar

Alterações Climáticas

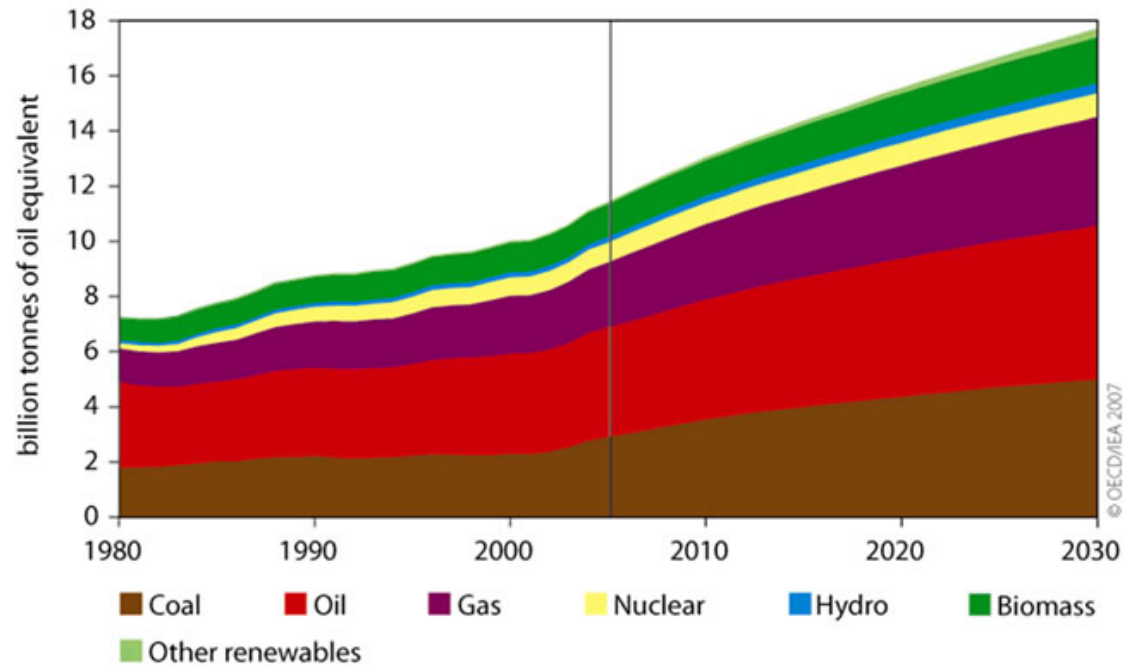
Desafios do Sector Energético – 80's

Década 80

Segurança de Abastecimento

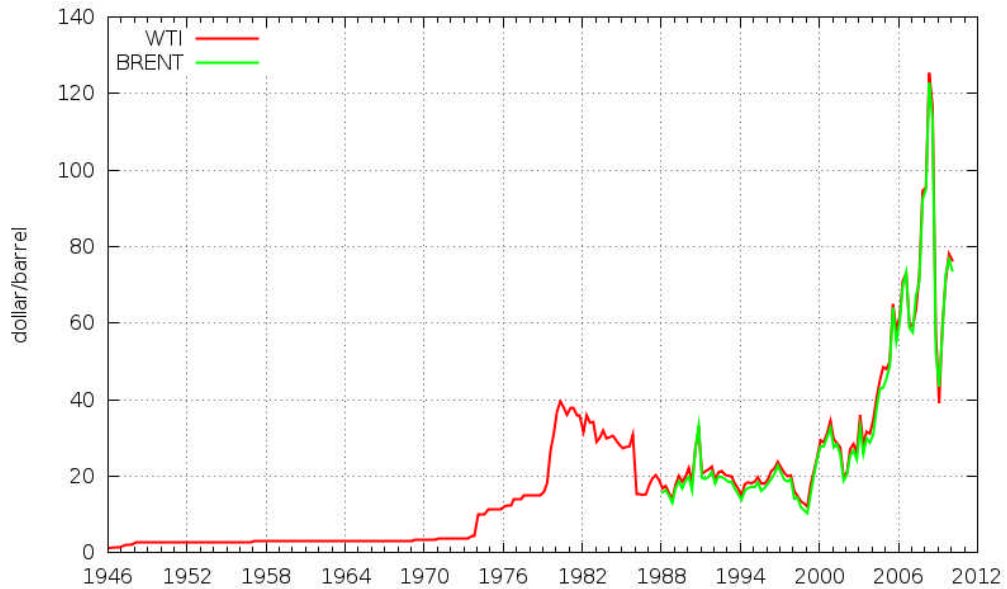
Segurança de Abastecimento

Procura de Energia primária Mundial no Cenário de Referência



Segurança de Abastecimento

Preço Nominal do Barril de Petróleo (dolar/barril)



Fonte: http://cafim.sssup.it/~giulio/other/oil_price/report.html

Desastre no golfo do México



Foto de satélite da costa do Estado da Louisiana, nos EUA

Desafios do Sector Energético – 90's

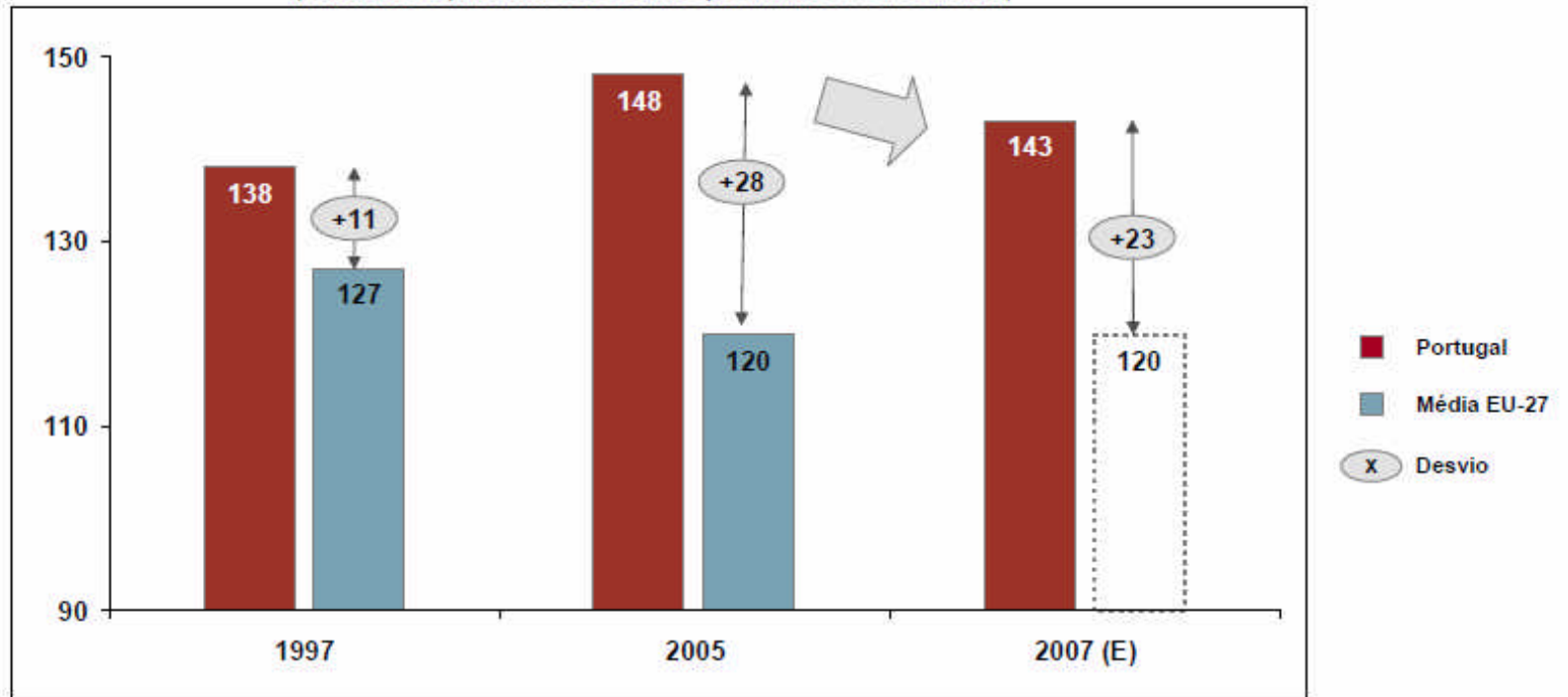
Década 90

Competitividade

Competitividade

Intensidade Energética de Portugal e média europeia Energia final / PIB

(Toneladas Equivalentes de Petróleo por milhão de euros de PIB)



NOTA: PIB a preços constantes de 2000
Fonte: Eurostat; Balanços Energéticos (DGEG); Análise ADENE/DGEG

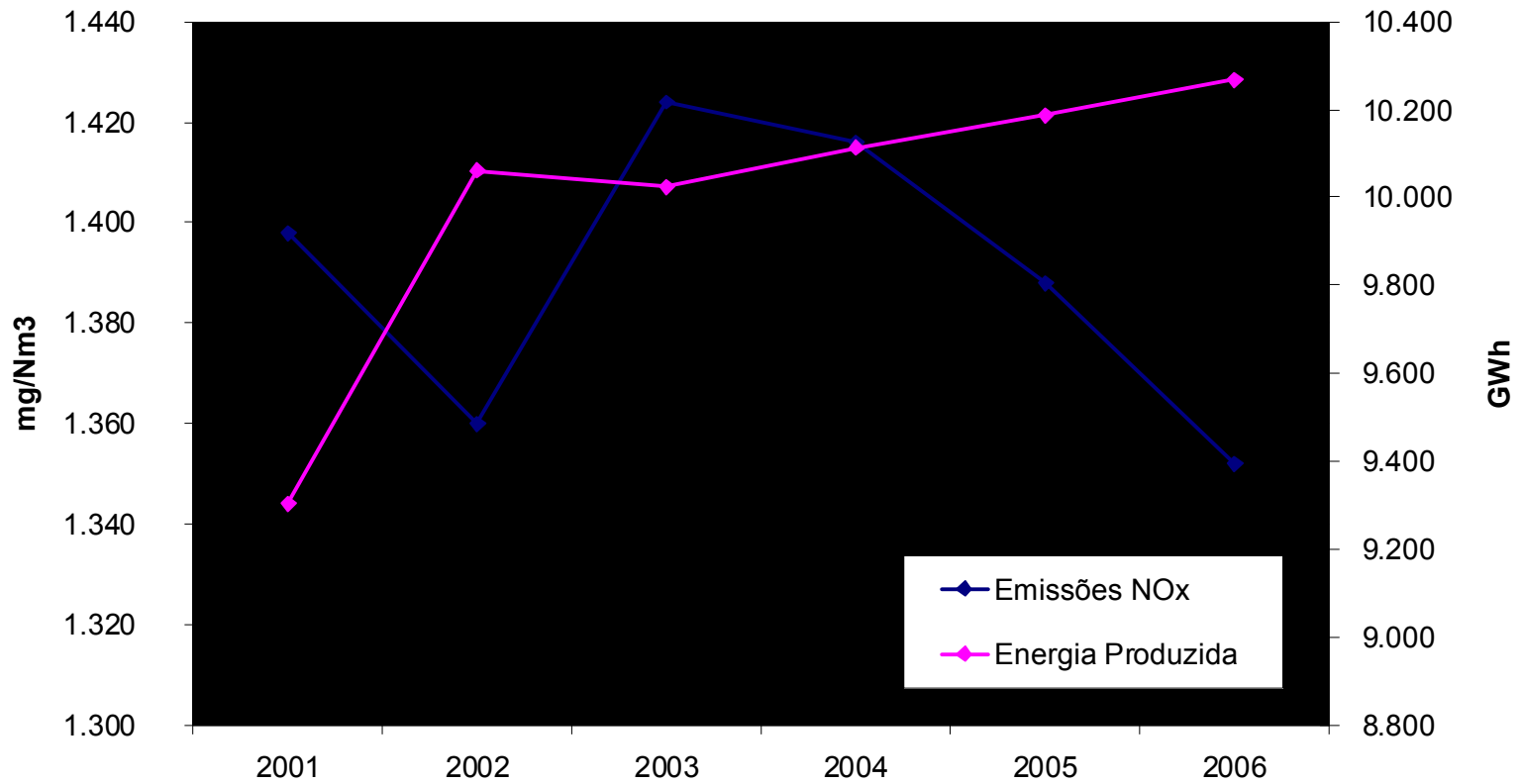
Desafios do Sector Energético – 90's

Década 90

Qualidade do Ar

Qualidade do Ar

Central de Sines



Qualidade do Ar

A postura perante o Ambiente - Emissões atmosféricas (Resumo)

☑ Óxidos de azoto (NOx)

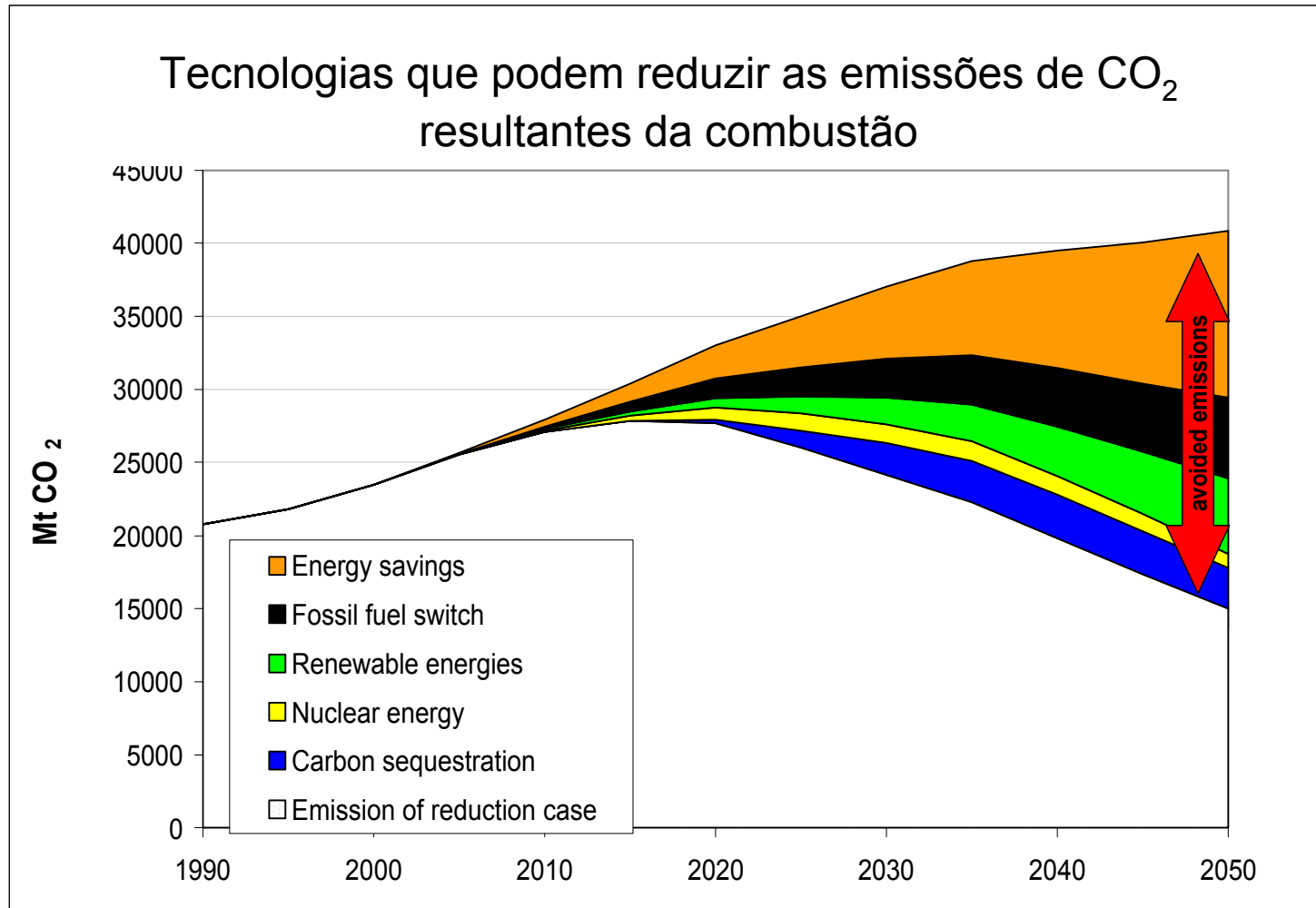
Emissões (mg/Nm ³)	Redução	Medidas adoptadas	Investimento
1 500 → 750	50%	Queimadores Low NOx + OFA	Medida Voluntária € 43 000 000
750 → 500	~ 33%	BOFA	Medida Voluntária € 21 000 000
500 → 200	60%	Desnitrificação	Exigência Legal € 83 000 000
1 500 → 200	~ 87%	(somatório das medidas)	€ 147 000 000

Nota: A vermelho = Valor limite legal

Século XXI

Alterações Climáticas

Alterações Climáticas



Fonte: JRC-IPTS

Resposta Europeia aos Desafios do Sector Energético

Estratégia Europeia para a Energia e Clima 20-20-20 para 2020

- **Em 2020 – Os três 20s:**
 - 20% de redução nas emissões de gases com efeito de estufa comparado com os níveis de 1990 (30% se houver acordo global)
 - 20% na redução do uso de energia primária global (através de eficiência energética)
 - 20% de energias renováveis no conjunto total da EU (objectivo mínimo de 10% de bio-combustíveis para combustíveis de veículos)

- **Em 2050 – redução indicativa de 60 a 80% nas emissões de gases com efeito de estufa.**

O Papel das Tecnologias

- A tecnologia é vital para atingir os objectivos da estratégia europeia para a energia e as alterações climáticas
- A investigação científica, o desenvolvimento tecnológico e a demonstração são essenciais para reduzir o custo das tecnologias
- As tecnologias de energia encontram-se em diferentes estádios de desenvolvimento
- Não deverá ser posta de lado a possibilidade de desenvolver uma nova geração de tecnologias

Campos de Actuação

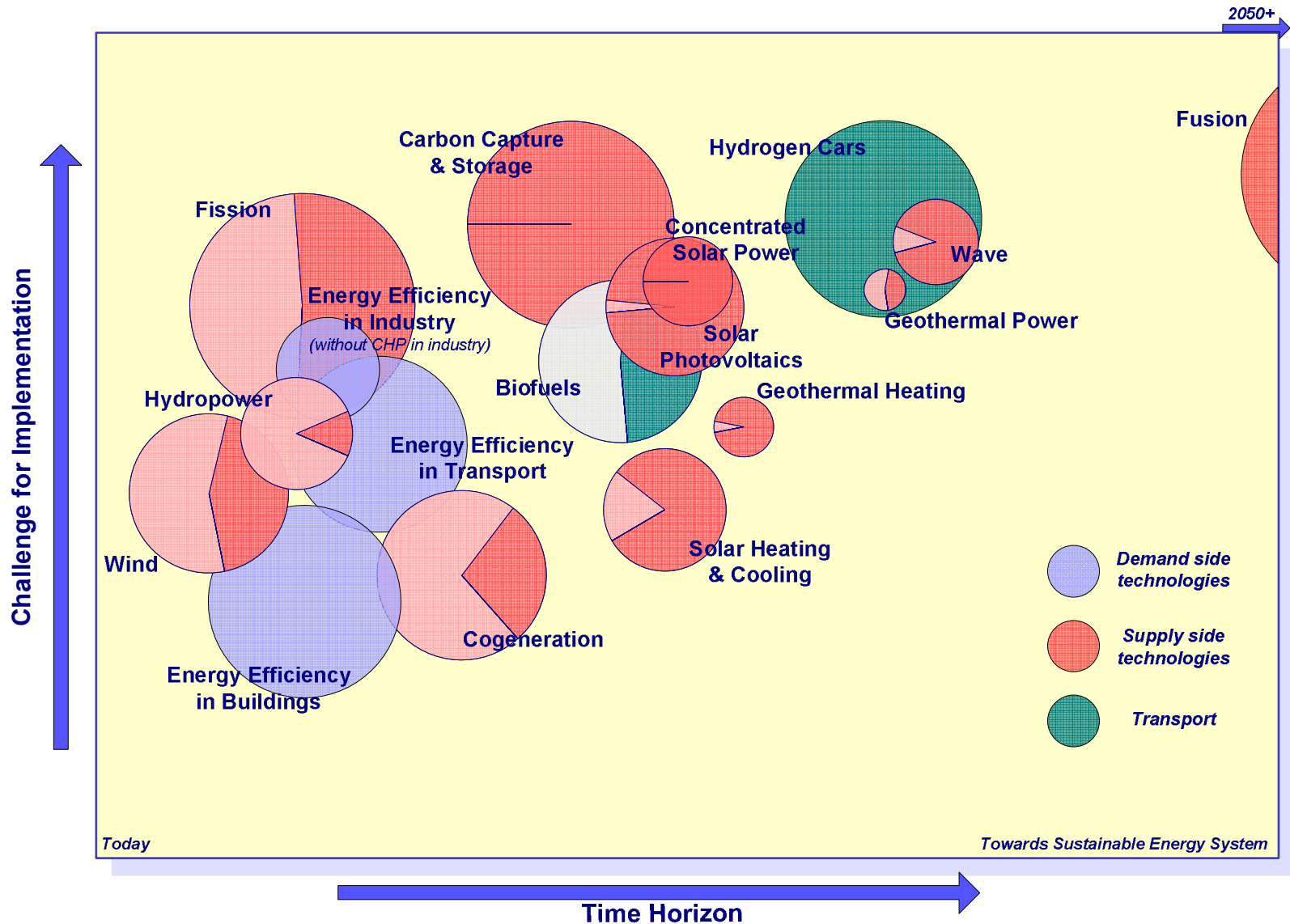
Produção Limpa

- Renováveis
- Nuclear
- Combustão de hidrocarbonetos com captura e armazenamento de CO₂
- Mudar para combustíveis com menor teor de carbono, e.g. utilização de H₂

Utilização Eficiente

- Indústria
- Edifícios
- Transporte

Potencial das Tecnologias



Alcançar uma nova visão para a Europa: Sociedade de Baixo Carbono

- Objectivos 2020: utilização racional de energia, renováveis com utilização de tecnologias de baixo custo e veículos híbridos e eléctricos
- Visão 2030: objectivos 2020 + combustíveis fósseis com CCS, utilização de solar foto voltaico, solar com concentração e veículos com bio combustíveis e a hidrogénio
- Visão 2050: visão 2030 + energia geotérmica e energia das ondas e das marés e os Estados Membros que o desejarem energia nuclear com reactores de quarta geração e fusão nuclear

A Minha Contribuição Científica ao longo de 30 Anos

Década 80

Década 90

Século XXI

Segurança de Abastecimento

- Combustão de carvão, gás e combustíveis líquidos;
- Eficiência energética na indústria

Competitividade

Qualidade do Ar

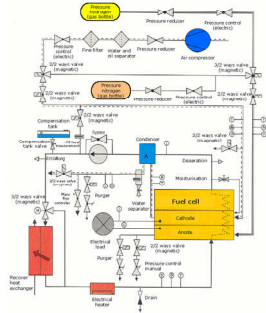
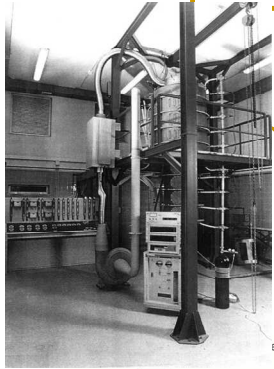
- Eficiência Energética;
- Redução de Emissões de poluentes

Alterações Climáticas

- Integração de FER e soluções de EE;
- Políticas e medidas para uma sociedade baixo carbono

Geração Limpa de Energia

- Combustão Limpa – Carvão
- Combustão Limpa - Petróleo
- Hidrogênio e Pilhas de Combustível



Investigação Fundamental e Tecnologias Inovadoras

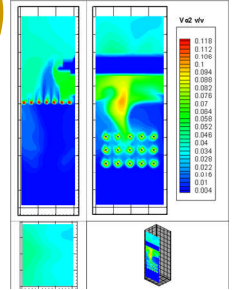
- Formação de Emissões Poluentes na Combustão
- Modelação de Transferência de Calor por Radiação
- Modelação de Equipamentos de Combustão Industrial

INVESTIGAÇÃO FUNDAMENTAL E TECNOLOGIAS INOVADORAS

INVESTIGAÇÃO APLICADA

- Produção Limpa de Energia
- Utilização Eficiente de Energia
- Políticas e Planeamento de Energia, Des. Sustentável

Transferência de Tecnologia e Disseminação



Sustentabilidade e Alterações Climáticas

- Políticas e Planeamento Energético
- Indicadores de Sustentabilidade
- Políticas de Energia e Alterações Climáticas
- Energia para o Desenvolvimento
- Promoção de tecnologias energéticas sustentáveis



Utilização Eficiente de Energia

- Indústria (vidro e cerâmica)
- Transportes
- Edifícios
- Integração de renováveis e eficiência energética

Metodologia de Estudo

Ciências de base

Natureza

Modelo físico

Modelo matemático

Modelo numérico

Validação
Experimental

Utilização dos modelos desenvolvidos para projecto de equipamentos industriais, para optimização das condições de funcionamento e para sistemas de controlo, com vista a uma **maior eficiência energética**, **melhor qualidade ar** e **menor emissões de CO₂**

Modelos Físicos

ADVANCED MODELLING

FLUIDS DYNAMICS OF TURBULENT COMBUSTION:

- FLUID FLOW
- TURBULENCE
- GASEOUS REACTIONS

MULTIPHASE COMBUSTION:

- PARTICULATE MECHANICS (DISPERSION/ TURBULENCE)
- PARTICLE/DROPLET REACTIONS
- (VAPORIZATION; DEVOLATILIZATION AND HETEROGENEOUS REACTIONS)

POLLUTANTS FORMATION

(E.G. NO_x ;
SOOT; SO_x)

HEAT TRANSFER RADIATION:

- RADIATIONS MODELS
- RADIATIVE PROPERTIES OF GAS
- RADIATIVE PROPERTIES OF PARTICLES

Infra-estruturas Científicas Desenvolvidas no IST

Laboratório de Combustão



- 0,5 MW Fornalha semi-industrial
- Sistema LDA
- Equipamento de medida de intensidade de radiação espectral
- Analisadores de O_2 , CO , CO_2 , UHC e NO_x
- “Malvern Particle Sizer” para medição da distribuição dos tamanhos das partículas
- Diferentes tipos de sondas para medição de temperatura
- Várias sondas para amostras de gás e partículas
- Medidores de fluxo de calor

Laboratório de Hidrogénio I

Sistema de Alimentação de Gás da Pilha de Combustível

Unidade de mistura para preparação da mistura de gás sintético representativos dos produtos da reformação para teste das pilhas de combustível

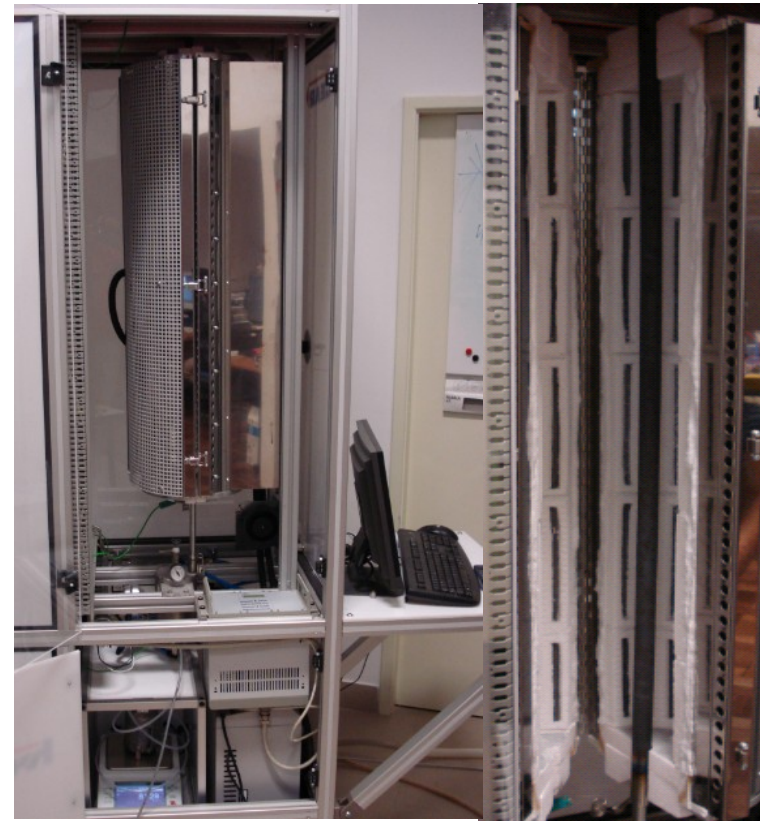


Laboratório de Hidrogénio II

Instrumentação - *Secção de Teste do Reformador*



Vista traseira dos controladores



Tubo do Reactor, fornalha e condensador

Investigação desenvolvida no IST

Investigação Fundamental e Tecnologias Inovadoras

- Modelação de Transferência de Calor por Radiação
- Propriedades Radiativas da Fuligem
- Formação de Emissões Poluentes na Combustão
- Modelação de Equipamentos de Combustão Industrial



Modelação de Transferência de Calor por Radiação

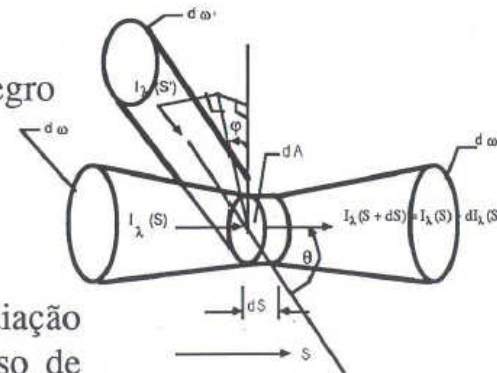
- Métodos Numéricos -

Equação de Transporte da Intensidade de Radiação

$$\underbrace{\frac{dI_\lambda}{dS}}_{\substack{\text{Variação de } I \text{ ao longo de } S \\ \text{no ângulo sólido } d\omega \text{ centrado em } S}} = \underbrace{-K_\lambda I_\lambda - \sigma_\lambda I_\lambda}_{\substack{\text{Diminuição devido à} \\ \text{absorção}}} + \underbrace{K_\lambda I_{b\lambda}}_{\substack{\text{Aumento devido à emissão}}} + \underbrace{\frac{\sigma_\lambda}{4\pi} \int_{\omega'=4\pi} \Phi(\omega' \rightarrow \omega) I(\omega') d\omega'}_{\substack{\text{Aumento devido à dispersão das} \\ \text{outras direcções para a direcção } S}}$$

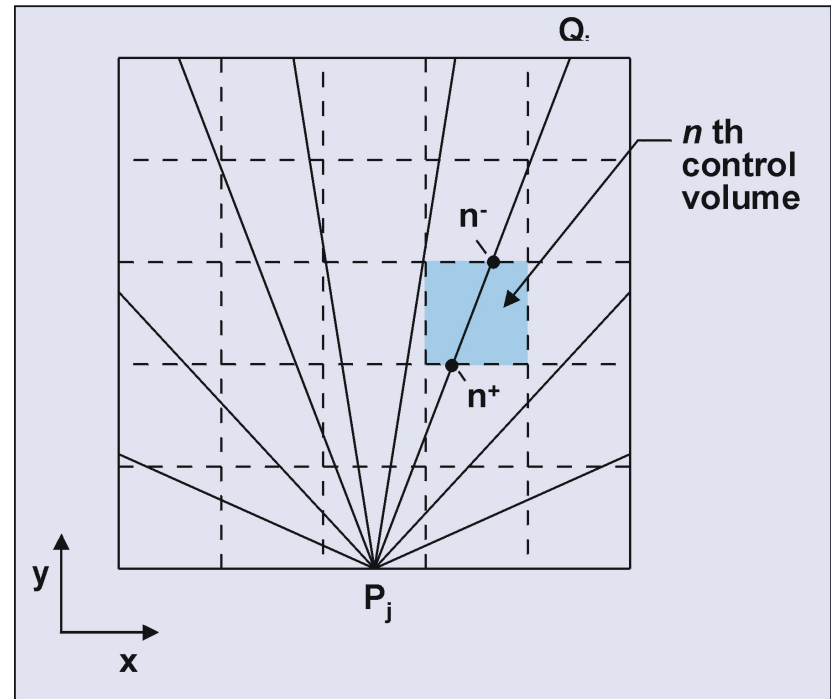
Diminuição devido à dispersão

- I_λ Intensidade de radiação monocromática
- $I_{b\lambda}$ Intensidade de radiação monocromática — corpo negro
- K_λ Coeficiente de absorção monocromático
- σ_λ Coeficiente de dispersão monocromático
- $d\omega$ ângulo sólido elementar centrado em S
- $d\omega'$ ângulo sólido elementar centrado em S'
- $\Phi(\omega' \rightarrow \omega)$ Função de fase (representa a probabilidade da radiação com direcção de propagação S' sofrer um processo de dispersão e atingir a direcção S).



Modelação de Transferência de Calor por Radiação - Métodos Numéricos -

Método "Discrete Transfer" - Fundamentos

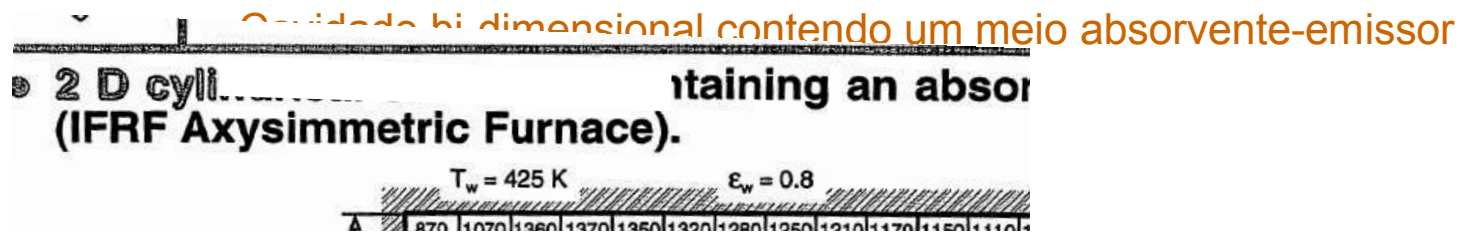


Modelação de Transferência de Calor por Radiação

- Comparação de Métodos -

Comparação de métodos de modelação de transferência de calor por radiação

- MultiDimensional Modelling of Radiative Heat Transfer in Scattering Media (Carvalho, Farias, e Fontes, Journal of Heat Transfer, Volume 115, pp. 486-489, 1993)



Modelação de Transferência de Calor por Radiação

- Comparação de Métodos -

Comparação de métodos de modelação de transferência de calor por radiação

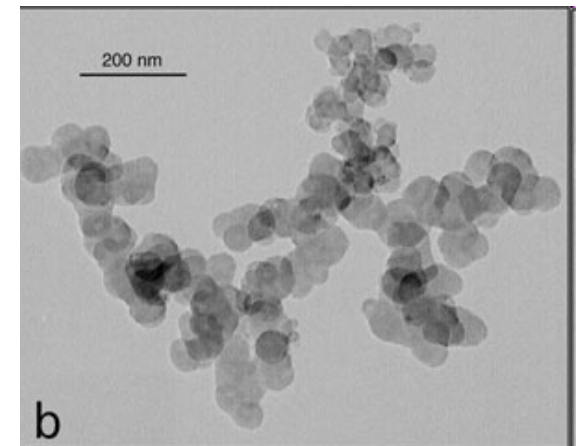
Cavidade rectangular tri-dimensional contendo um meio que participa na radiação

FURNACE DIMENSIONS	
6.0 x 2.0 x 2.0 m	
Wall Temperatures and Emissivities	
Floor	- $T_w = 320 \text{ K}$; $\epsilon_w = 0.86$
Sidewalls and Ceiling	- $T_w = 1090 \text{ K}$; $\epsilon_w = 0.70$
Properties of the Medium	
T_g	= measured
K_a	= 0.2 m^{-1}

Propriedades Radiativas da Fuligem

- A Recipe for Image Characterization of Fractal-Like Aggregates (Brasil, Farias e Carvalho, Journal of Aerosol Science, Vol. 30, 10, 1379-1389, 1999)
- Evaluation of the fractal properties of cluster-cluster aggregates (Brasil, Farias, Carvalho, Aerosol Science and Technology, Vol. 33; pp. 440-454, 2000)
- Numerical Characterization of the morphology of aggregated particles (Brasil, Farias, Carvalho e Koylu, Journal of Aerosol Science, Vol, 32, 489-508, 2001)

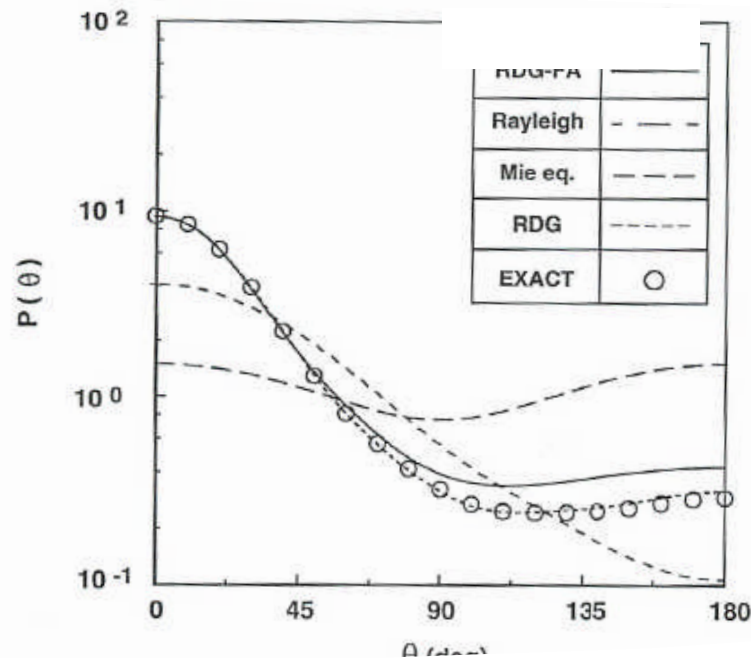
Modelo Cluster – Cluster hierárquico



Fonte: http://www.mpbs.wnoz.us.edu.pl/moje_sadze/sadze.html

Propriedades Radiativas da Fuligem

- Computational Evaluation of Approximate Rayleigh-Debye-Gans/Fractal Aggregate Theory for the Absorption and Scattering Properties of Soot (Farias, Carvalho, Koylu e Faeth, Journal of Heat Transfer, Vol. 117, pp. 152-159, 1995)
- Effects of Polydispersity of Aggregates and Primary Particles on Radiative Properties of Simulated Soot (Farias, Koylu e Carvalho, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, Vol. 55, N.º 3, pp. 357 - 371, 1996)
- Range of Validity of the Rayleigh-Debye-Gans/Fractal-Aggregate Theory for Computing Optical Properties of Fractal-Like Aggregates (Farias, Carvalho e Koylu, Applied Optics, Vol. 35, N.º 33, pp. 6560 - 6567, 1996)

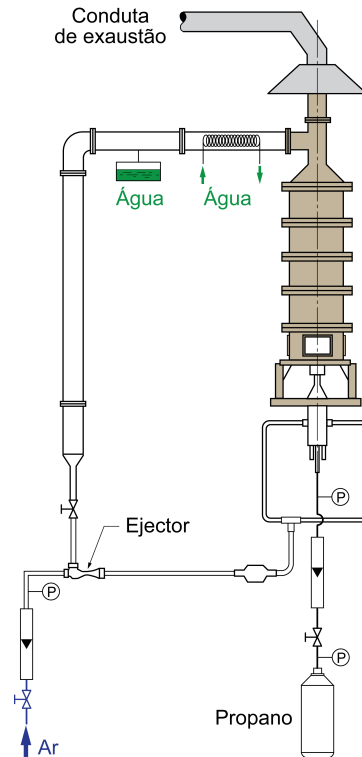


Modelação de Equipamentos de Combustão Industrial

- Métodos de Controlo da Emissão de Óxidos de Azoto -

Recirculação (externa) dos produtos de combustão

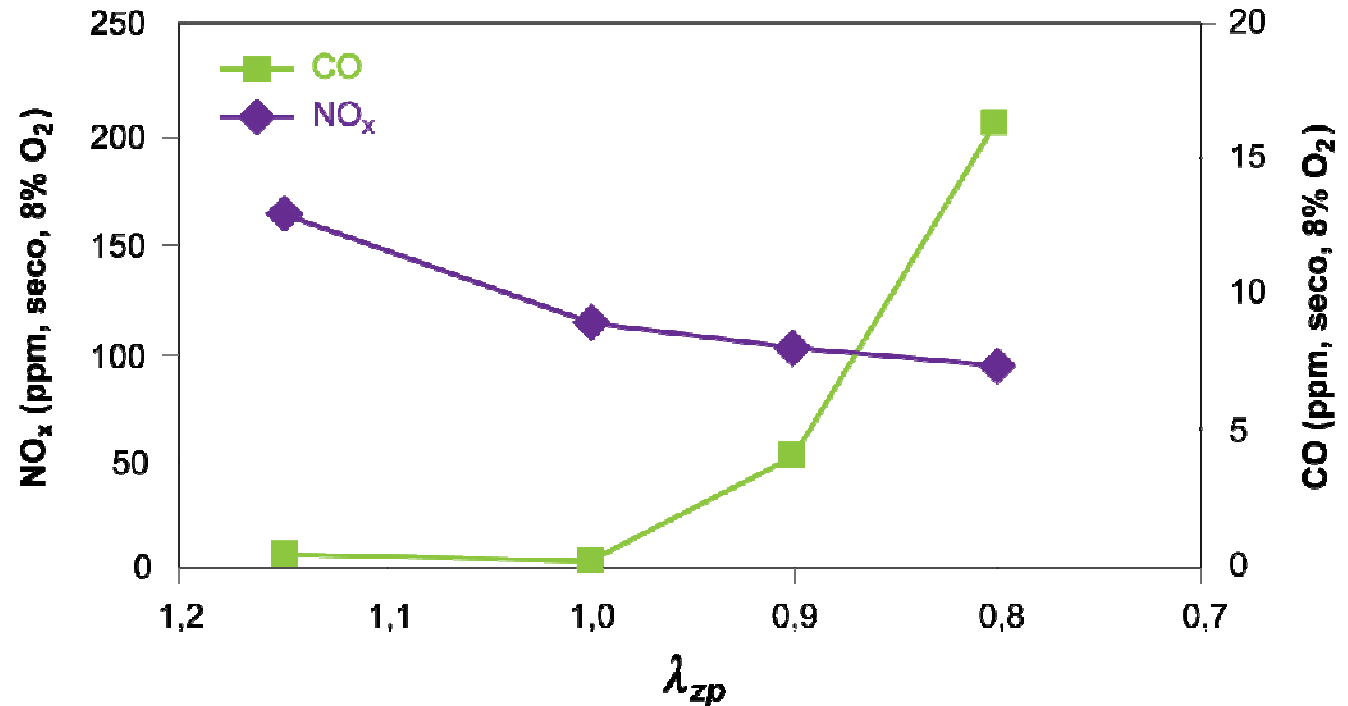
- Efeito da taxa de recirculação nas emissões de NO_x de uma fornalha laboratorial alimentada a propano (Baltasar, Carvalho, Coelho e Costa, Fuel, Vol. 76, pp. 919-929, 1997)



Modelação de Equipamentos de Combustão Industrial

- Métodos de Controlo da Emissão de Óxidos de Azoto -

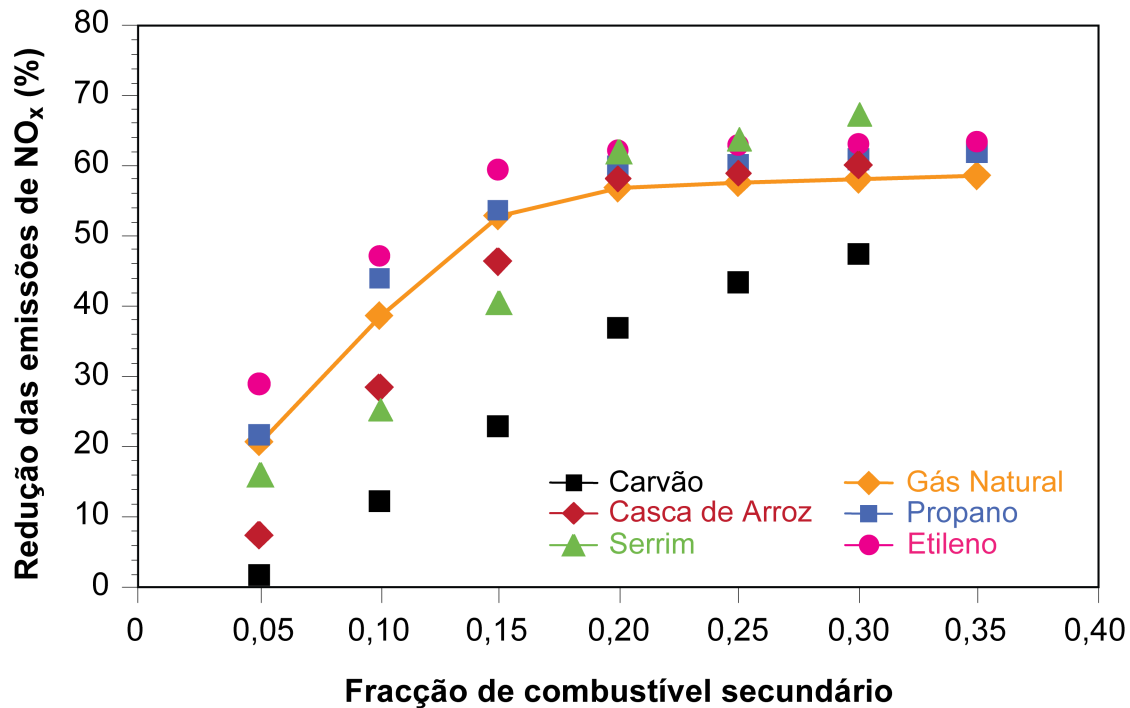
Estagiamento do ar de combustão



Modelação de Equipamentos de Combustão Industrial

- Métodos de Controlo da Emissão de Óxidos de Azoto -

Estagiamento do combustível e *reburning*



Geração Limpa de Energia

- Combustão Limpa – Carvão
- Combustão Limpa - Fuel
- Hidrogénio e Pilhas de Combustível



Combustão Limpa - Carvão

- Central de Sines, Medidas -

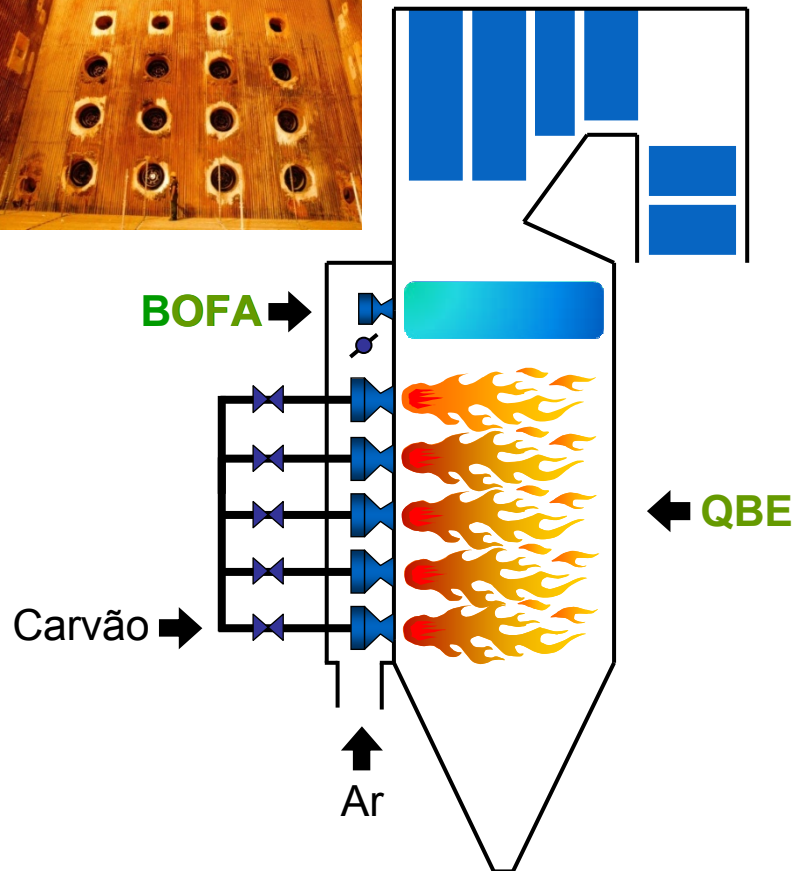
Caldeiras da Central Termoelétrica de Sines – Campanha de Medições



Combustão Limpa - Carvão

- Central de Sines, Medidas -

Caldeiras da Central Termoelétrica de Sines – Resultados



	NO _x (mg/Nm ³ @6%O ₂)	Carbono nas cinzas (%)
Caso base	1405	2,5
QFS	997	3,2

• Costa, Azevedo e Carvalho, *Combustion Science and Technology*, Vol. 129, pp. 277-293, 1997

QBE + OFA	620	4,1
-----------	-----	-----

• Costa, Silva e Azevedo, *Combustion Science and Technology*, Vol. 175, pp. 271-289, 2003

QBE + BOFA	469	5,8
------------	-----	-----

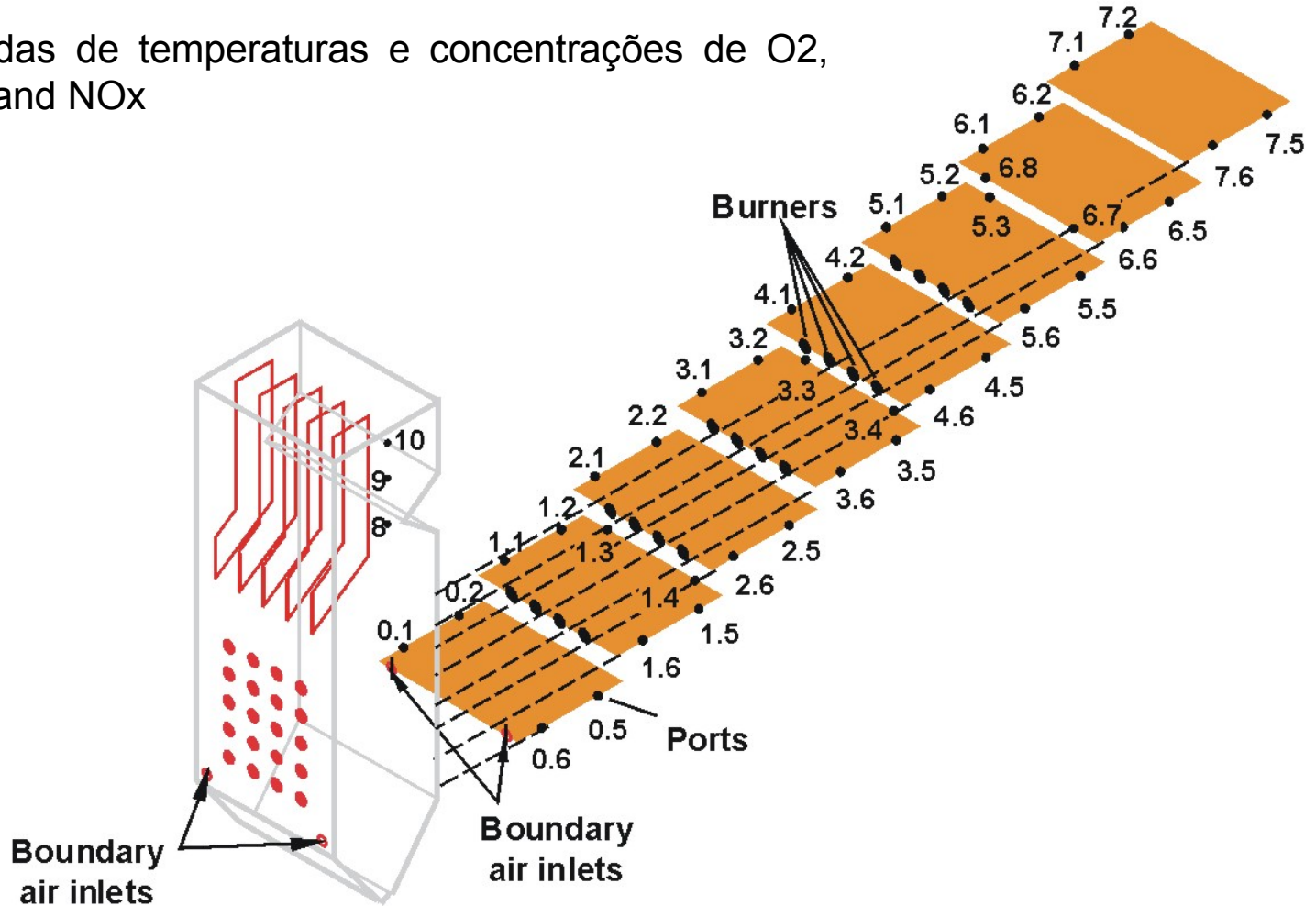
• Costa e Azevedo, *Combustion Science and Technology*, Vol. 179, pp. 1923-1935, 2007

Combustão Limpa - Carvão

- Central de Sines, Modelação -

Modelo ACORDE

- Medidas de temperaturas e concentrações de O₂, Co₂ and NO_x

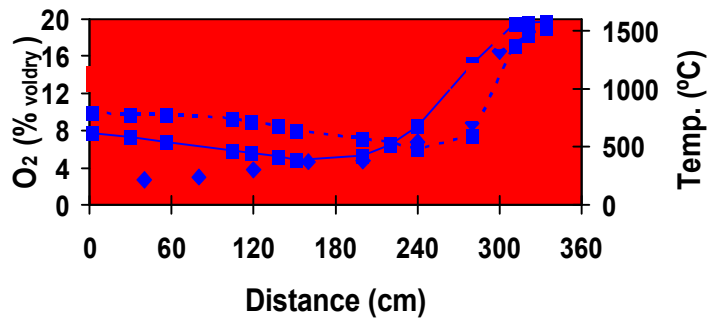


Combustão Limpa - Carvão

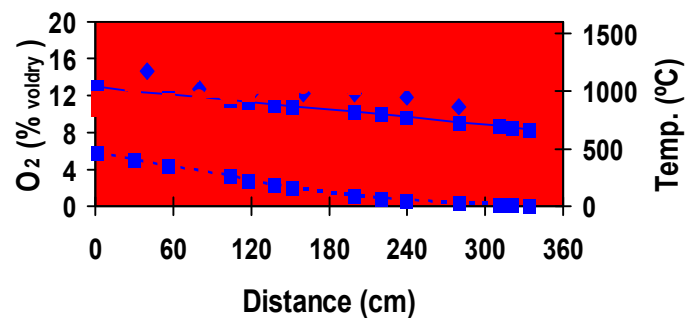
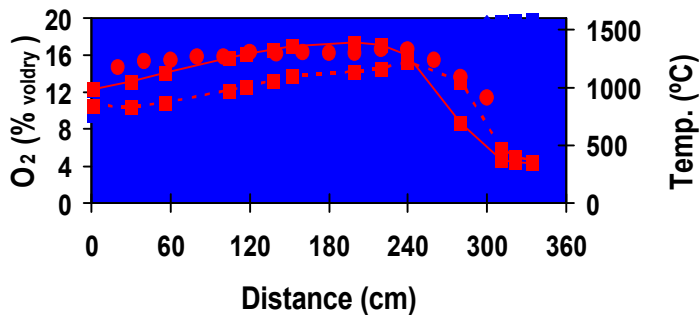
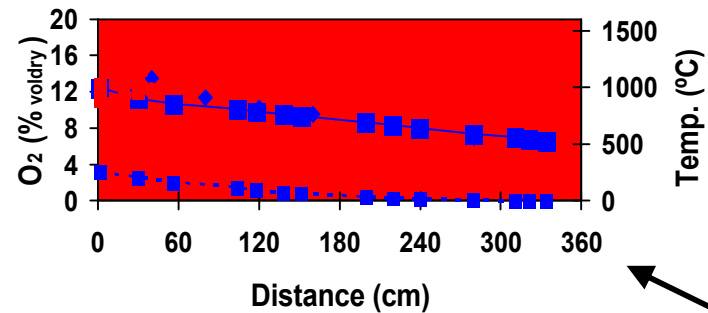
- Central de Sines, Comparação de Resultados -

Central de Sines – Comparação das medidas e das previsões

Parede Frontal



Parede de Trás



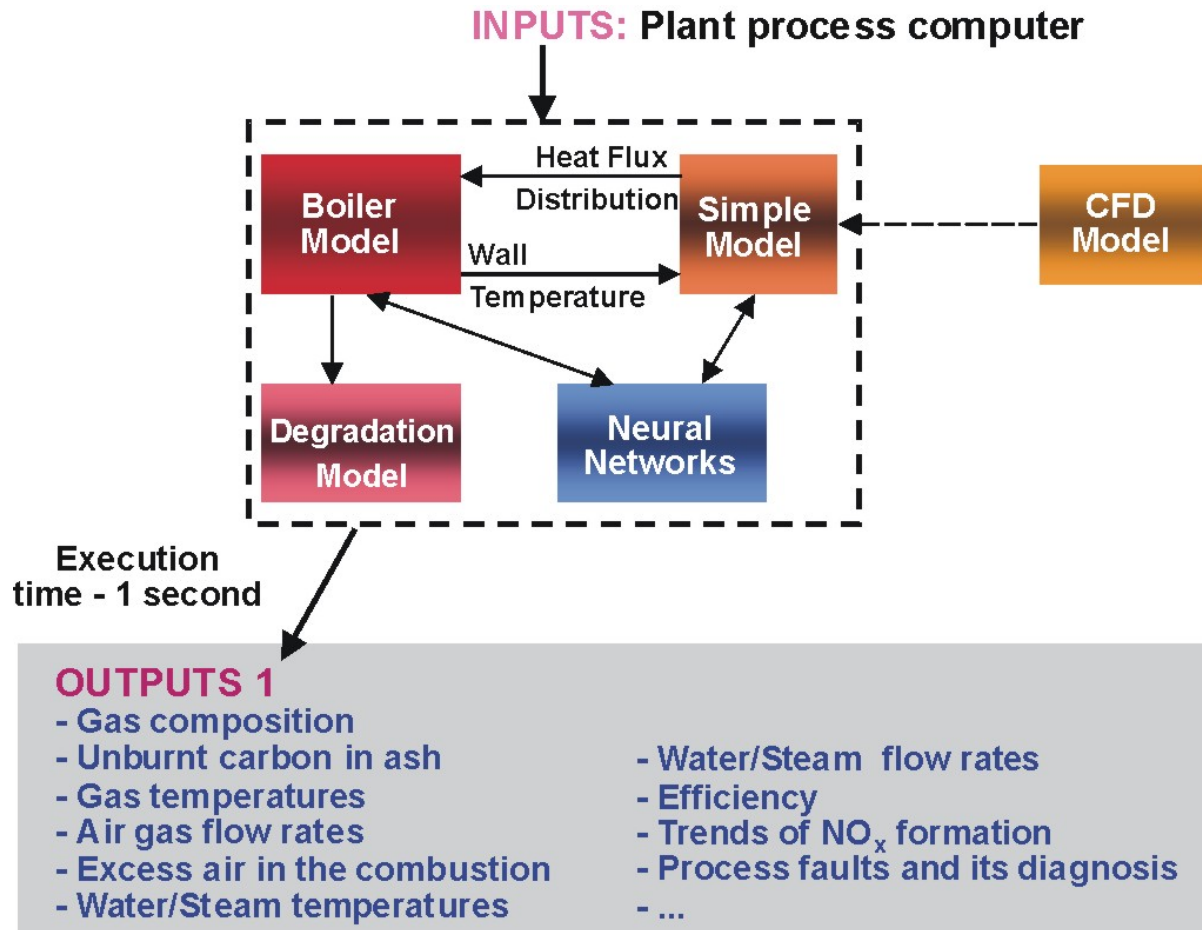
3^a fila de queimadores
S
2^a fila de queimadores
S

Temp. O₂
Experimental ● ◆

Combustão Limpa - Carvão

- Central de Sines, Modelação -

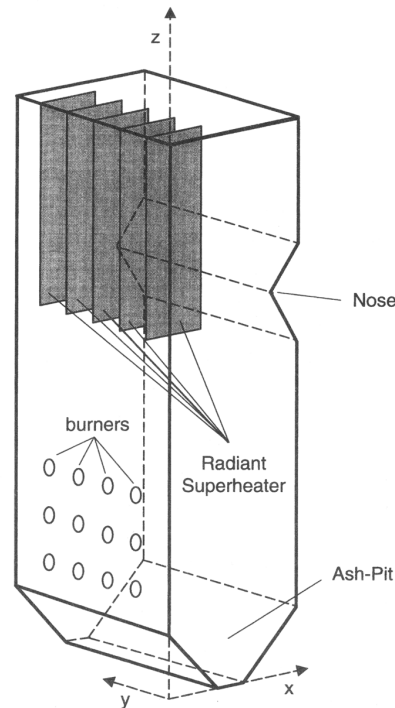
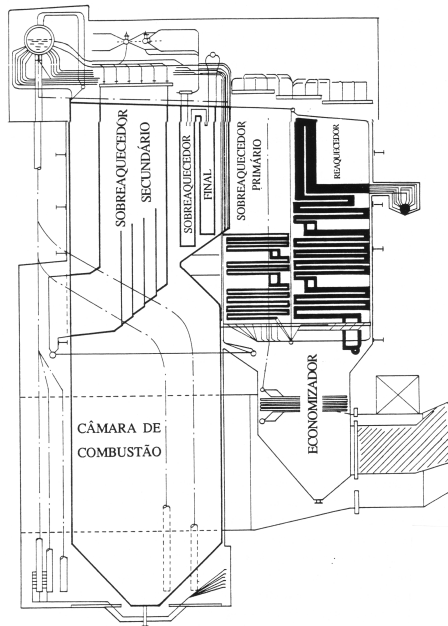
Modelo ACORDE – Integração



Combustão Limpa - Fuelóleo

- Central de Setúbal -

Caldeira da Central Térmica de Setúbal (I)



Operating Conditions

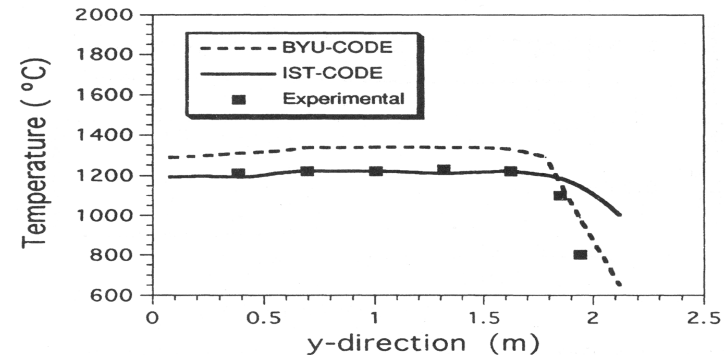
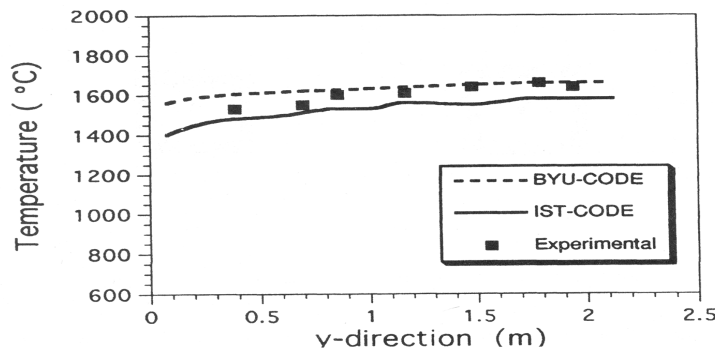
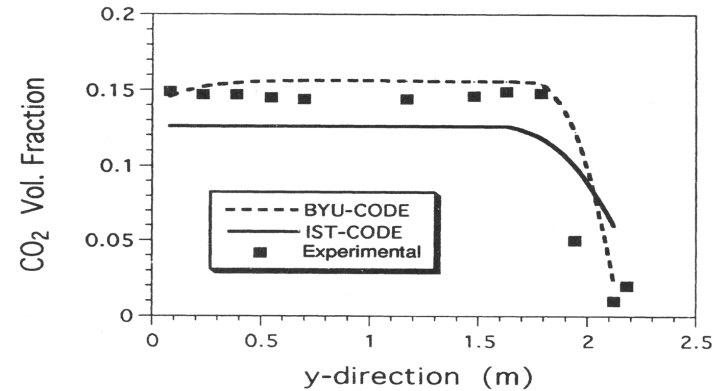
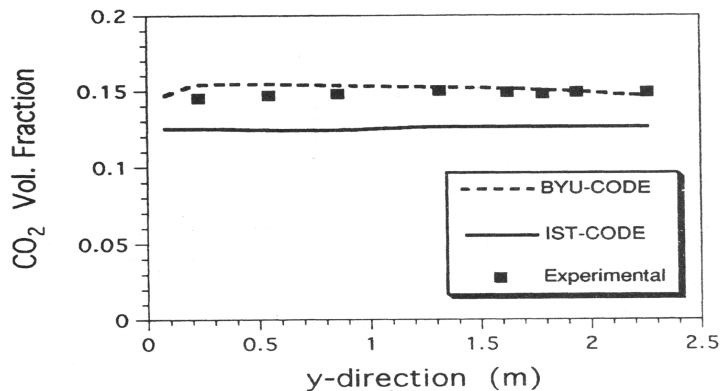
- 12 burners in front wall (3 levels with 4 burners)
- Electrical power: 250 MWe
- 771 ton/h of superheated vapour at 545°C and 167 Bar
- 1.2% O₂ at exit
- Fuel: Fuel-oil

Combustão Limpa - Fuelóleo

- Central de Setúbal -

Comparação das medidas e das previsões da BYU

- The Comparison of Two Comprehensive Combustion Codes to Simulate Large-Scale Oil-Fired Boilers (Coimbra, Coelho, McQuay e Carvalho, Combustion Science and Technology, Vol. 120, N° 1-6, pp. 55-81, 1996)

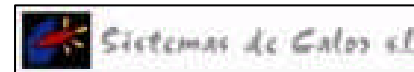
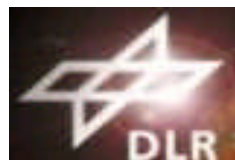


Hidrogénio e Pilhas de Combustível

Projecto **Virtual Fuel Cell Power Plant**

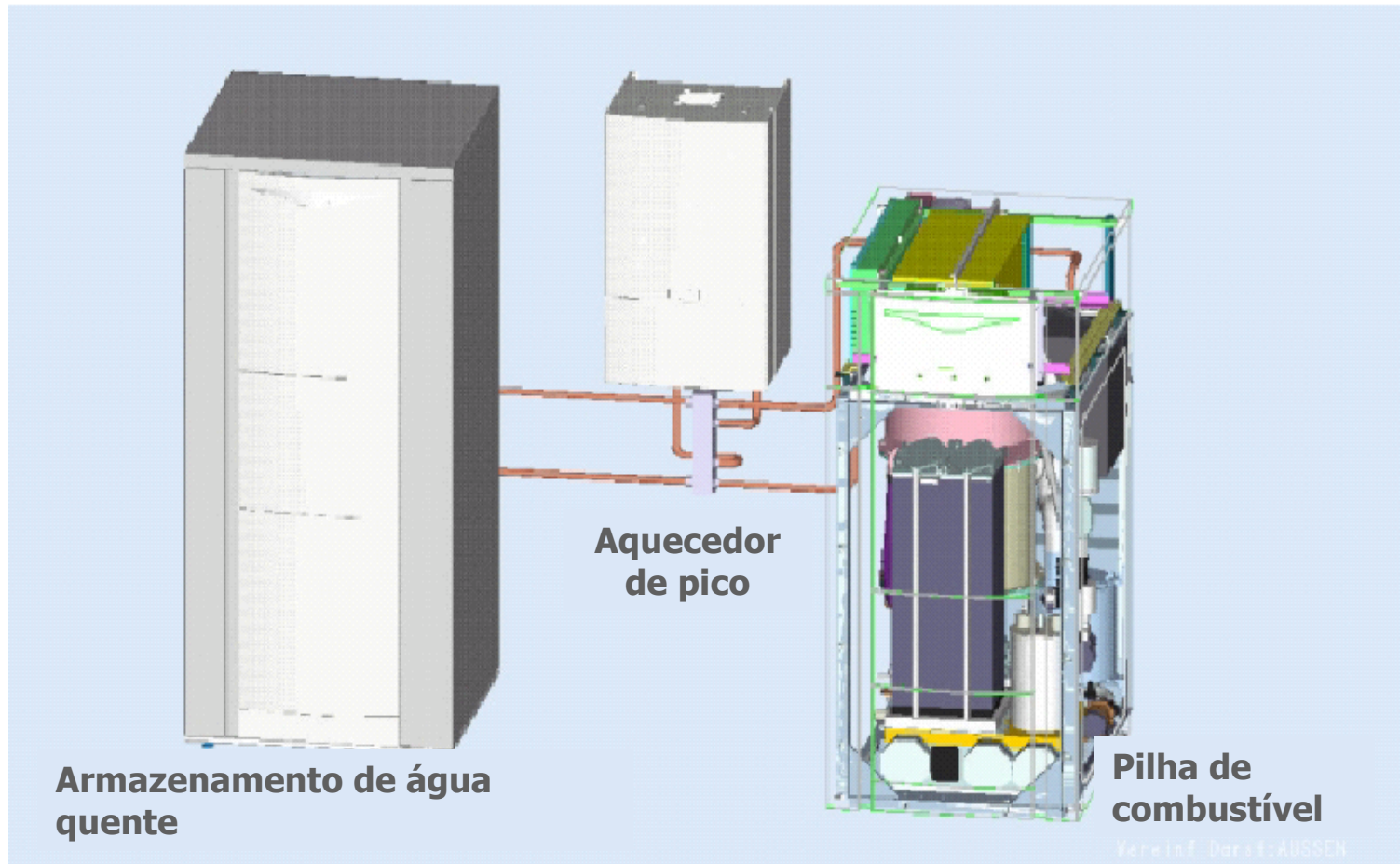
“System Development, Build, Field Installation and European Demonstration of a Virtual Fuel Cell Power Plant, Consisting of Residential Micro-chips“

(projecto co-financiado pela DGTREN da Comissão Europeia)



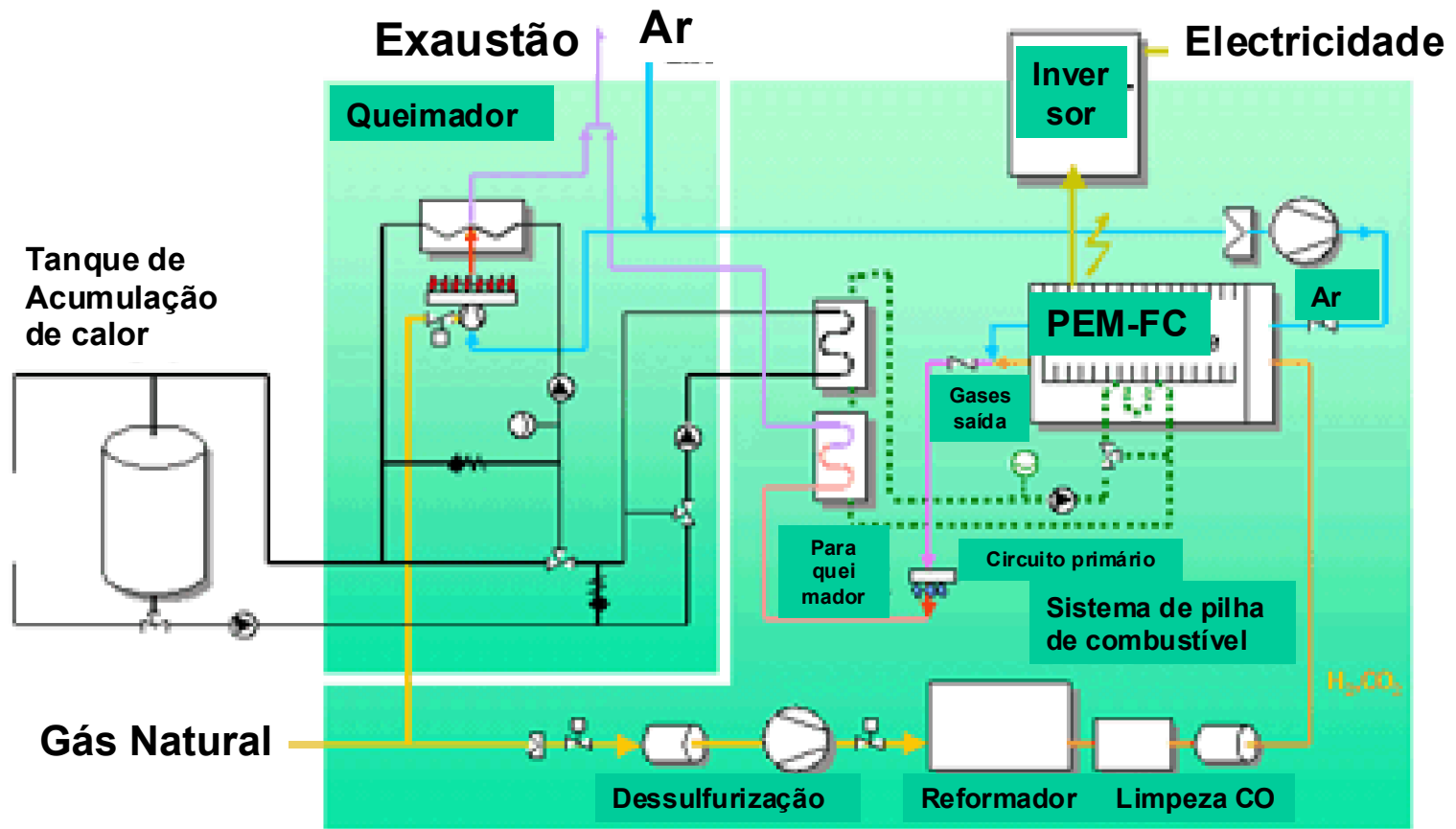
Hidrogénio e Pilhas de Combustível

Virtual Fuel Cell Power Plant - Esquema do Sistema



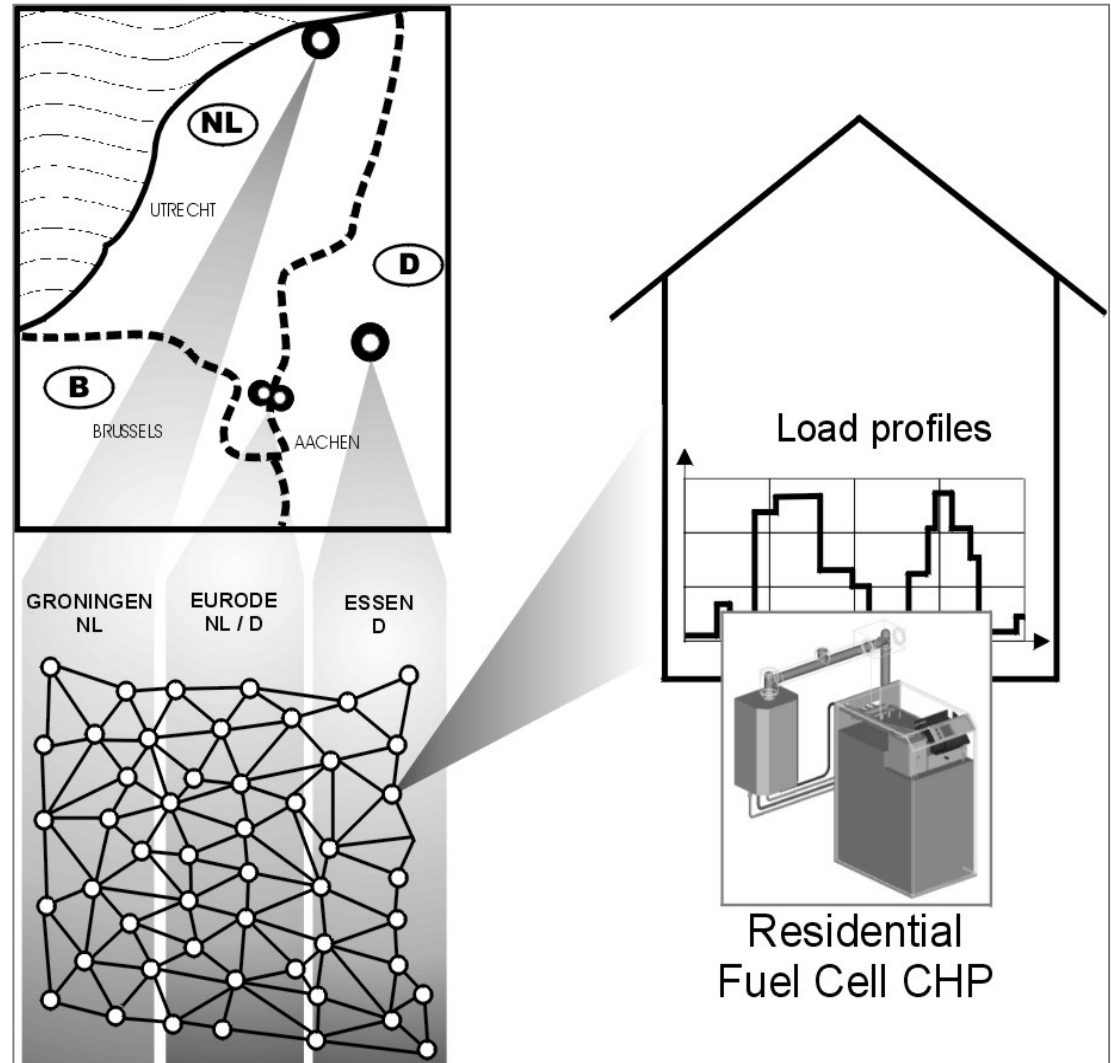
Hidrogénio e Pilhas de Combustível

Virtual Fuel Cell Power Plant - Esquema do Sistema



Hidrogénio e Pilhas de Combustível

Virtual Fuel Cell Power Plant



Utilização / Eficiência Energética

- Indústria do vidro
- Transportes
- Edifícios
- Integração de renováveis e eficiência energética

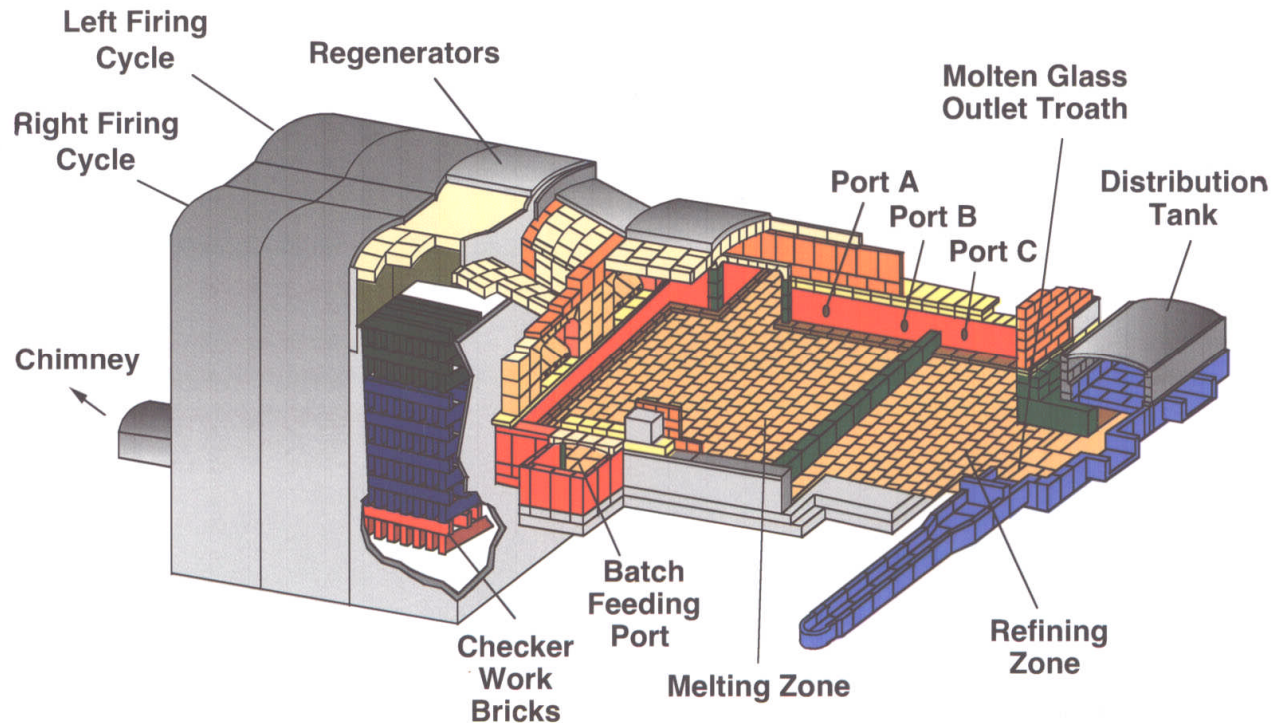


Indústria do Vidro

Projecto EX-LIBRIS – Expert system for energy efficiency and pollution abatement in industry

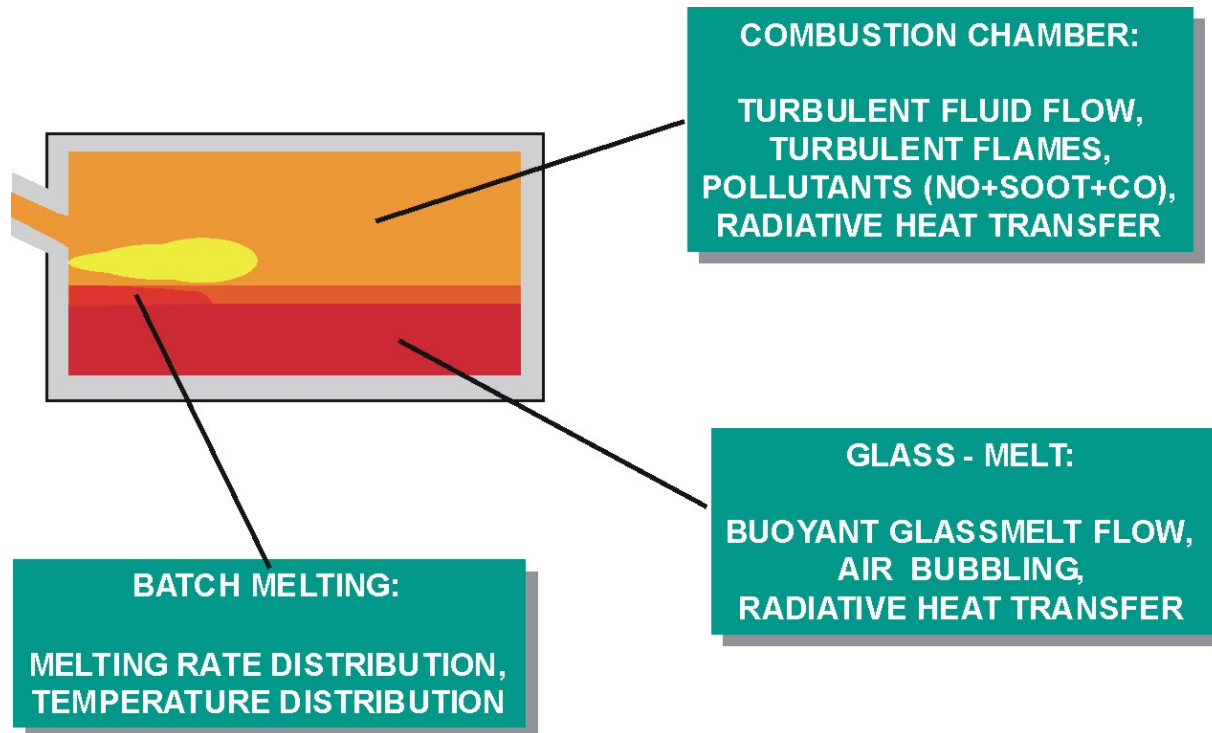
(projecto co-financiado pela DGXII da Comissão Europeia)

Típico Forno Industrial de Vidro



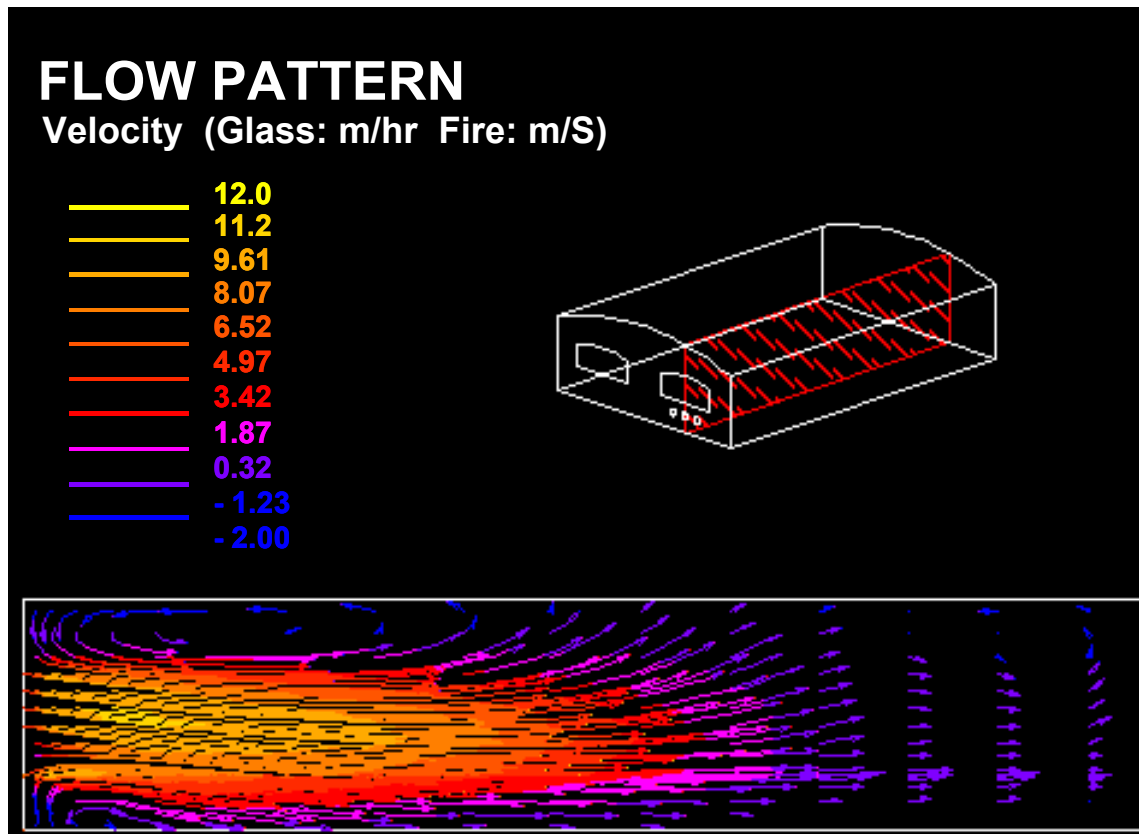
Indústria do Vidro

Projecto **EX-LIBRIS** – Modelação 3D do Forno de Vidro



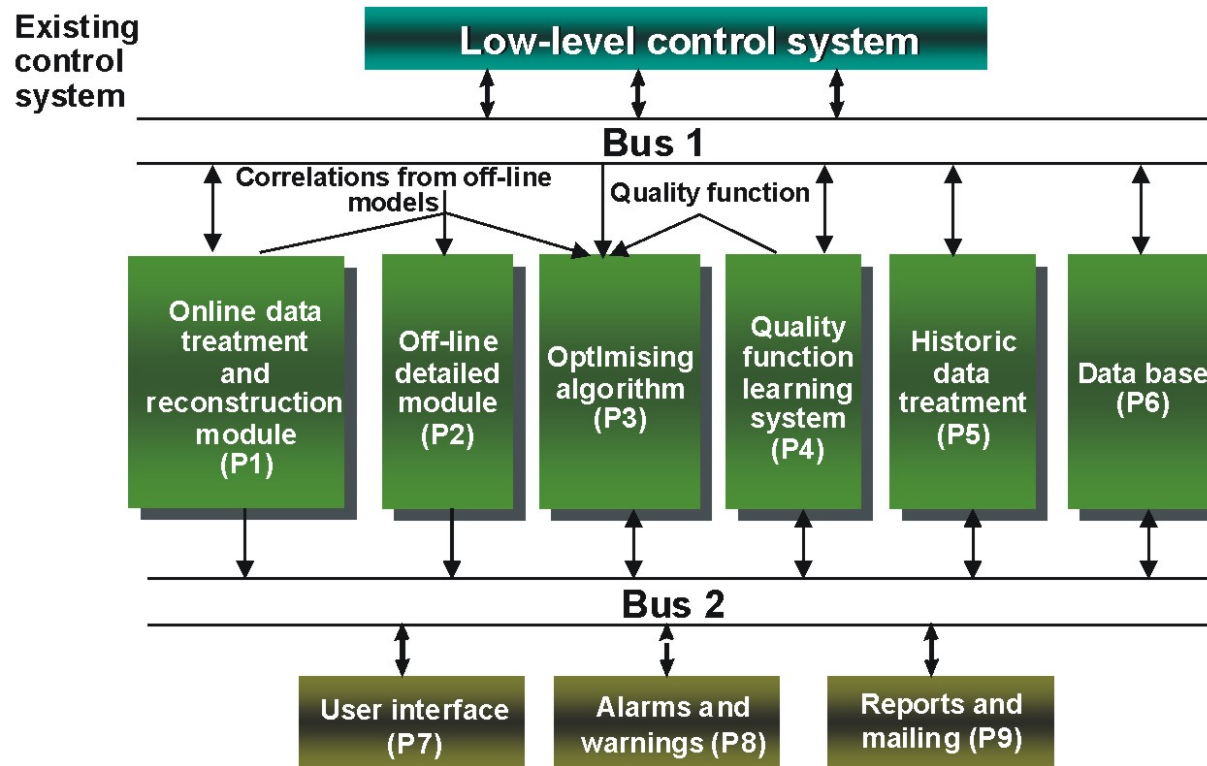
Indústria do Vidro

Projecto **EX-LIBRIS** – Predicted Flow Pattern In The Combustion Chamber



Indústria do Vidro

Projecto EX-LIBRIS – Estrutura Funcional do Exlibris

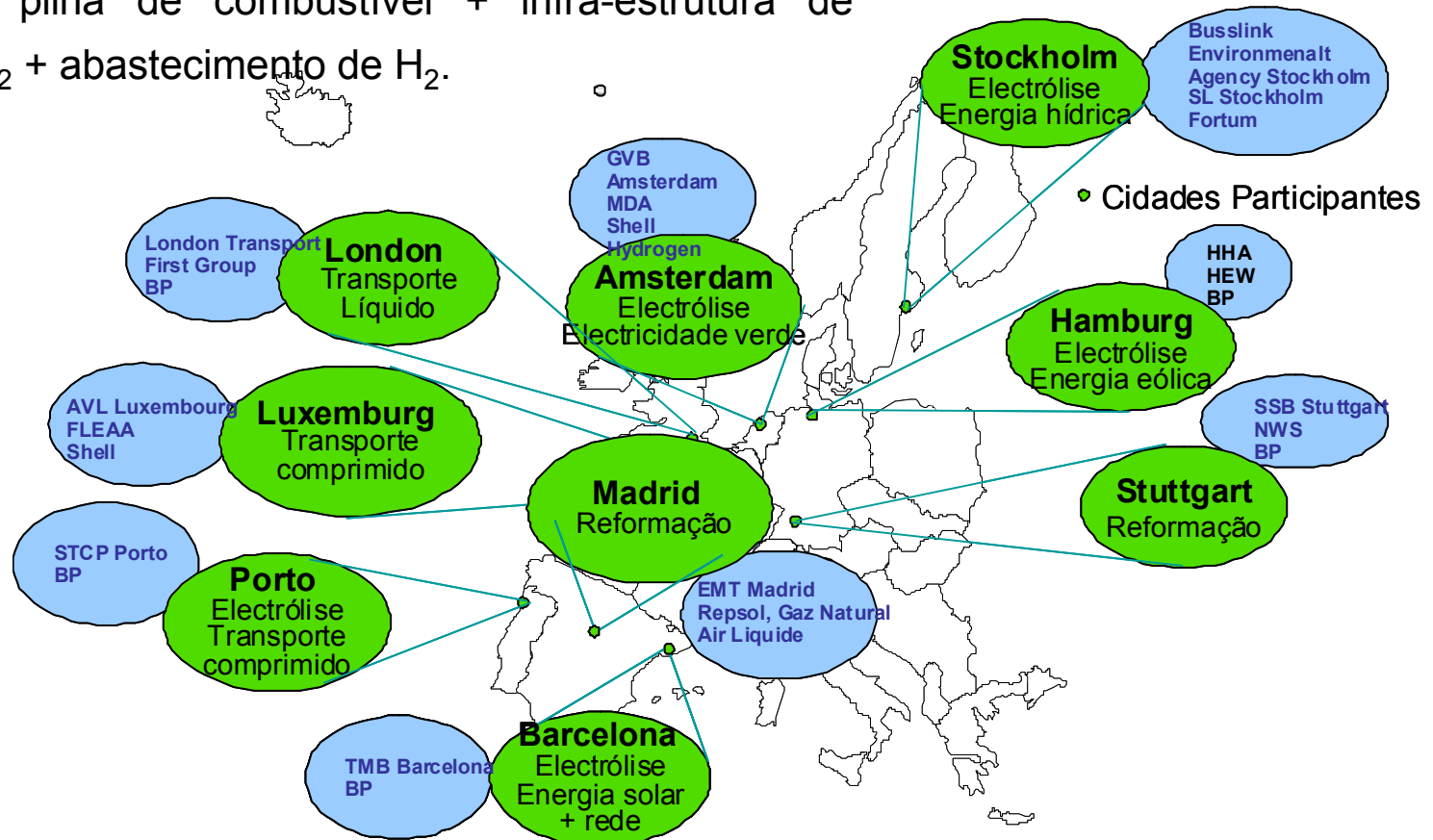


Transportes

Projecto CUTE – Clean Urban Transports for Europe

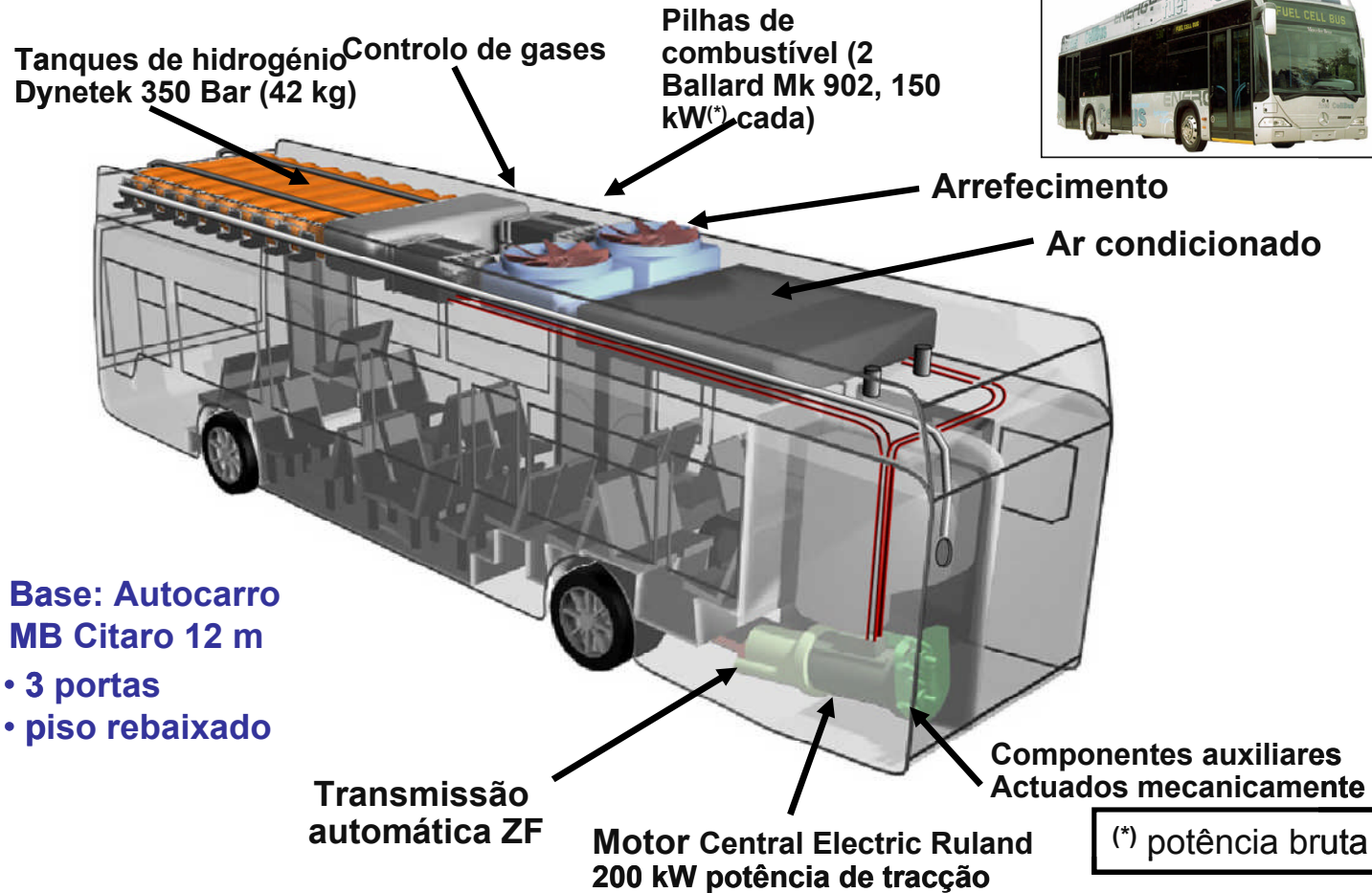
(projecto co-financiado pela DG TREN da Comissão Europeia)

Construção e implementação de uma frota de autocarros urbanos a pilha de combustível + infra-estrutura de produção H₂ + abastecimento de H₂.



Transportes

Projecto CUTE – Mercedes-Benz Citaro (Componentes)



Transportes

Projecto CUTE – Na cidade do Porto



Fotografia de: Armino Cerqueira



Fotografia de: Armino Cerqueira

Edifícios

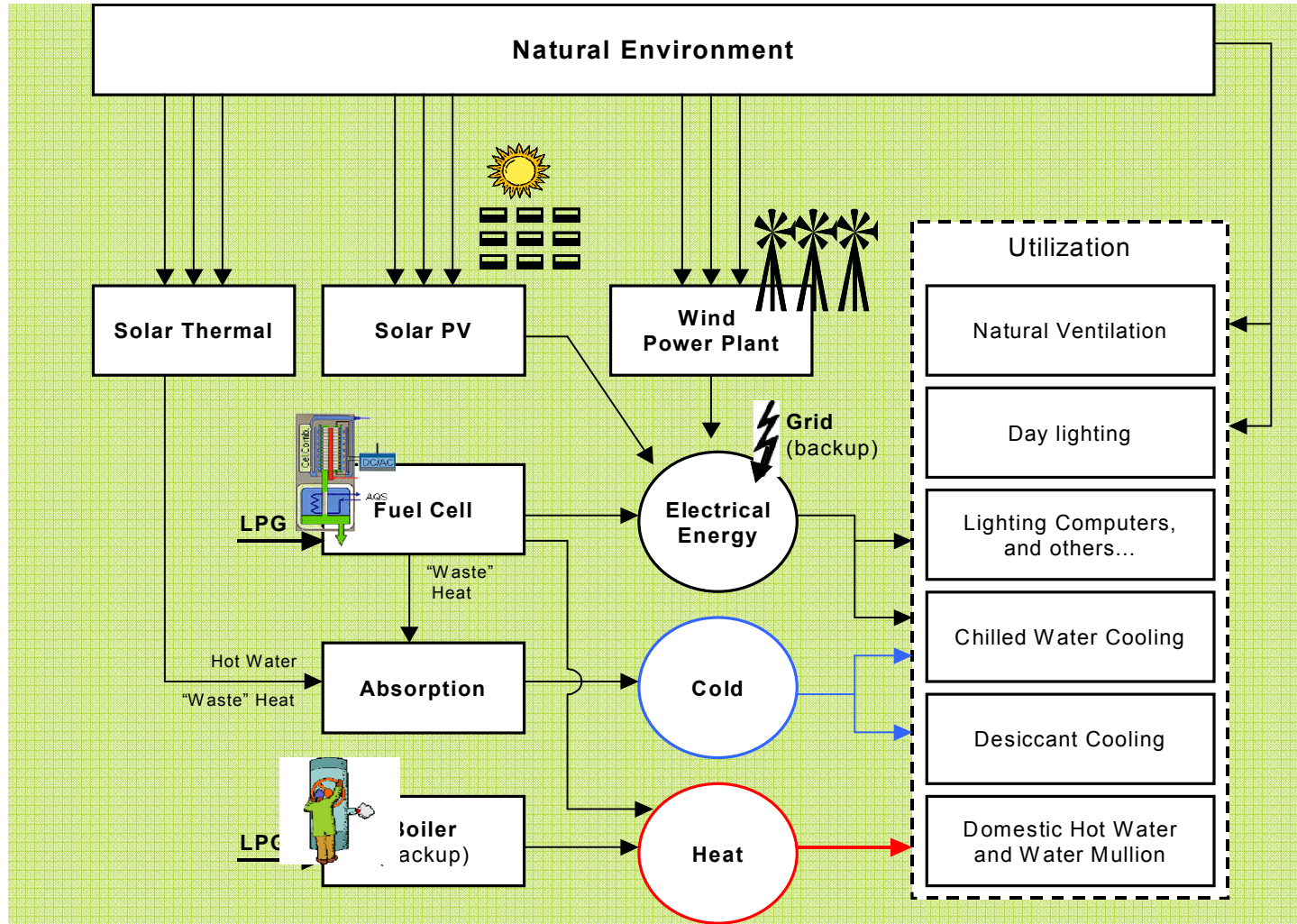
Projecto **Green Hotel** – “Integrating Self-Supply into End Use for Sustainable Tourism”

(projecto co-financiado pelo 5º PQ da Comissão Europeia)



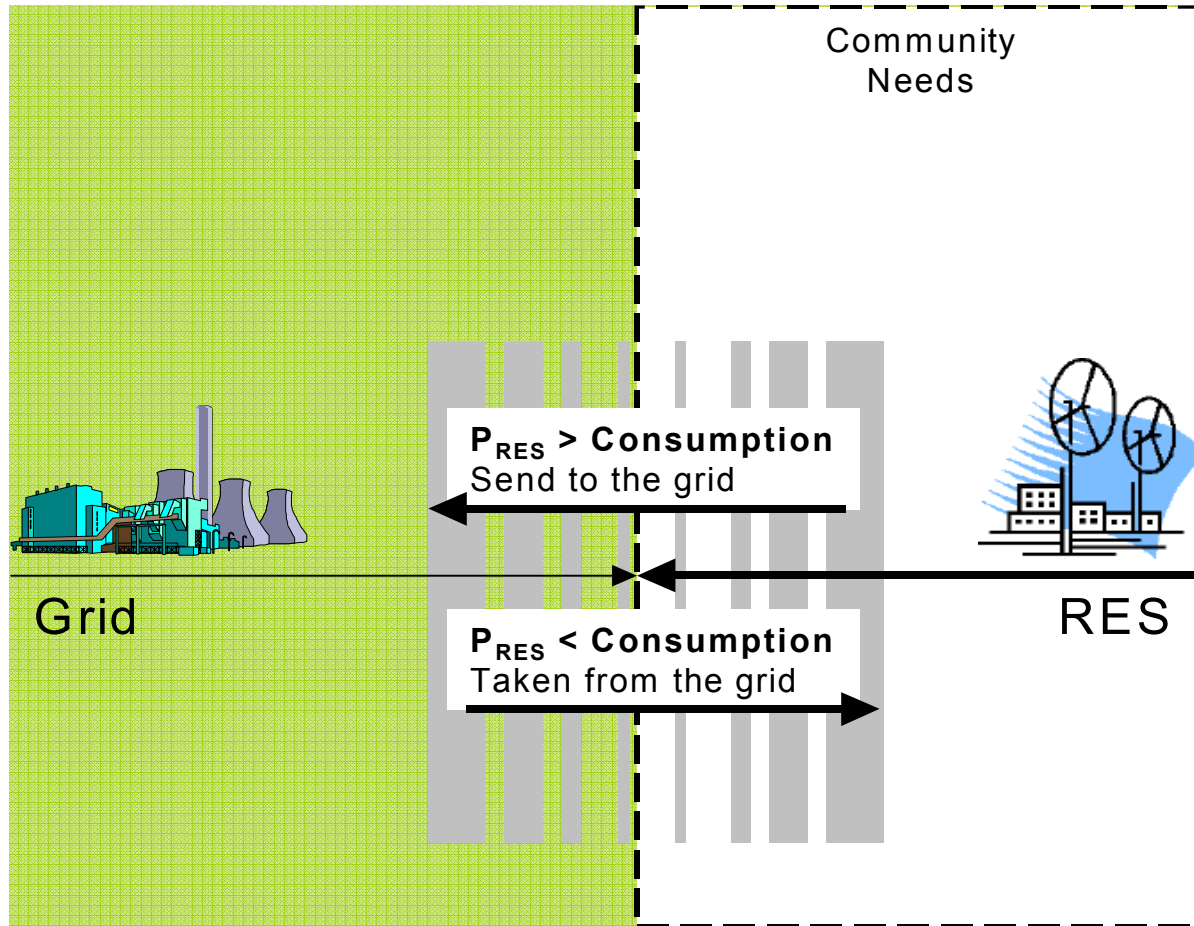
Edificios

Projecto Green Hotel – Sistema Energético Integrado



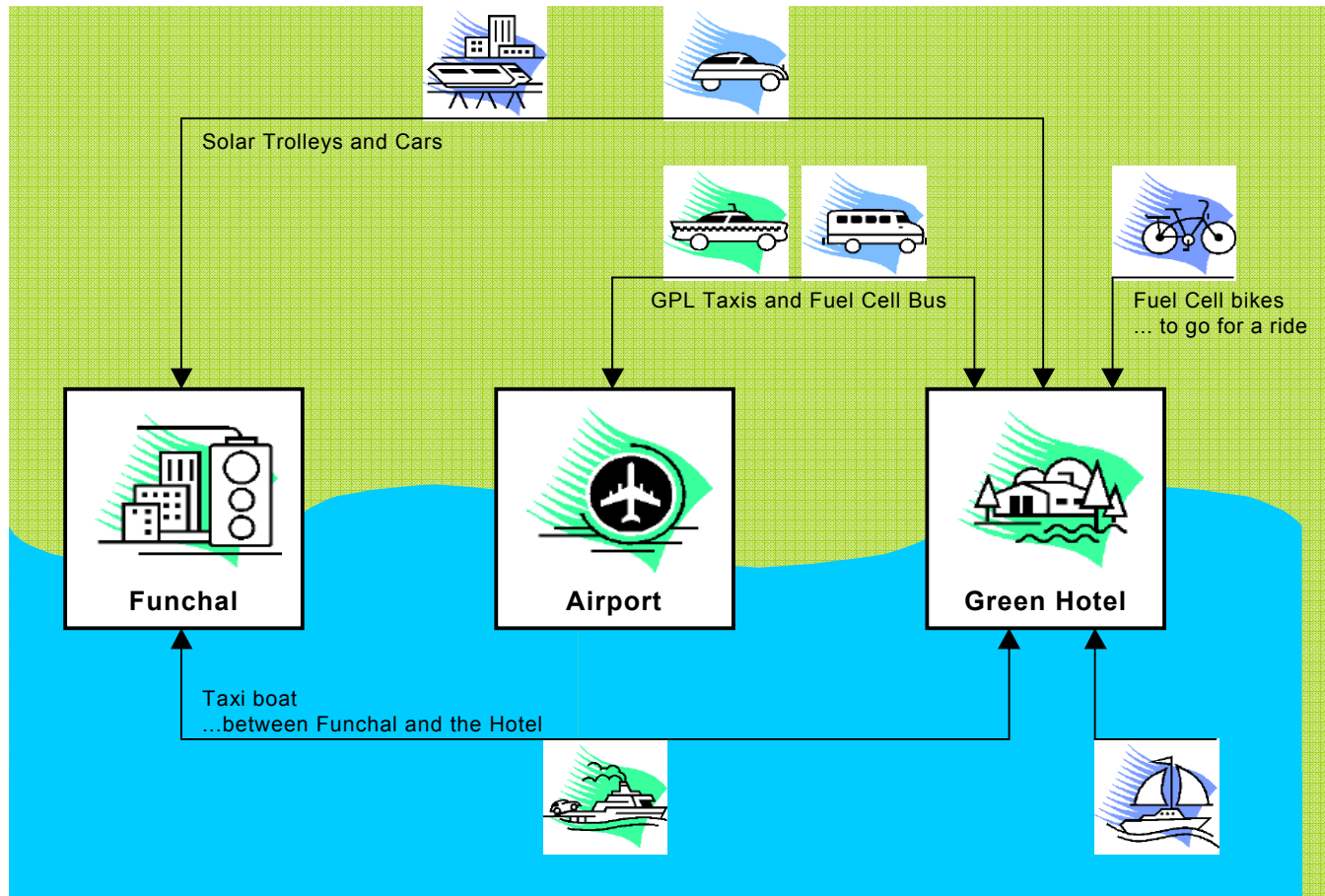
Edifícios

Projecto Green Hotel – Interface Rede / FER



Edifícios

Projecto **Green Hotel** – Plano Integrado de Mobilidade



Edifícios

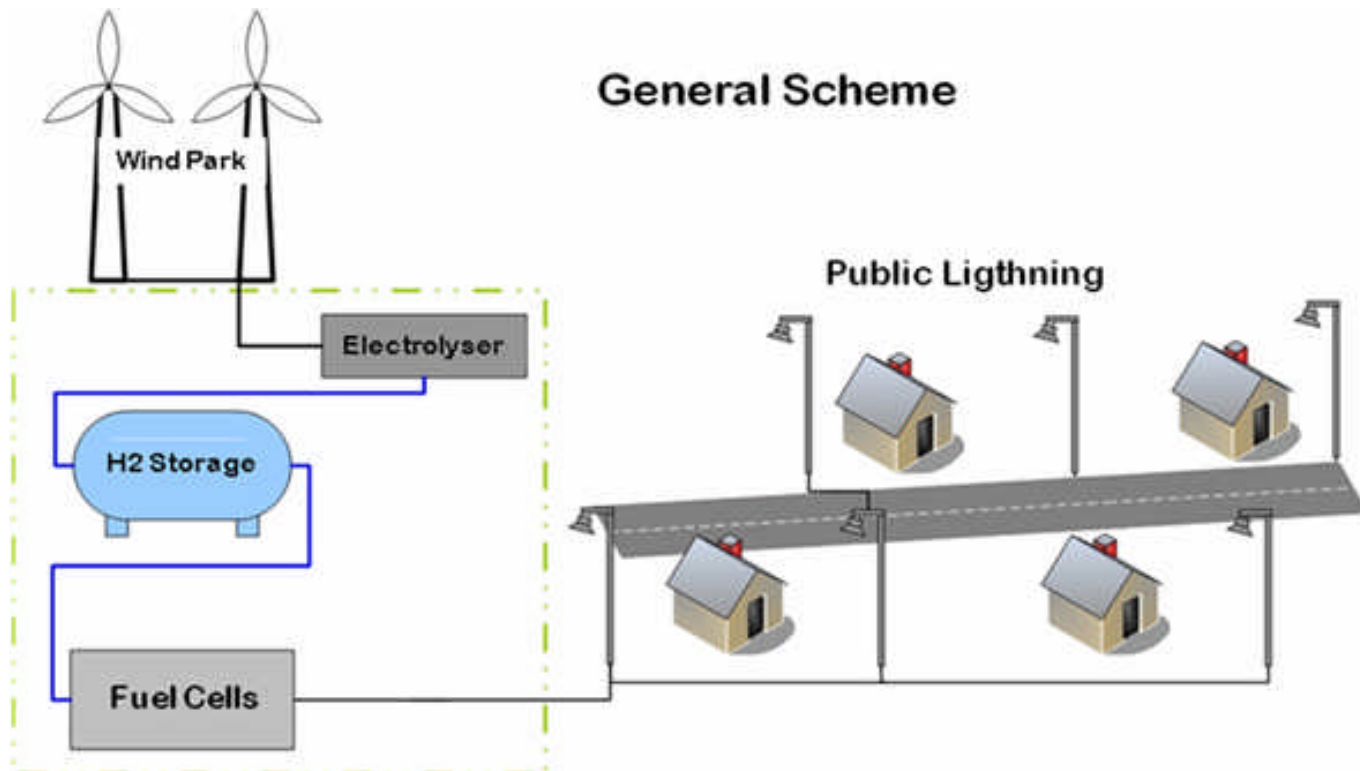
Green Hotel



Electrolisador e Pilha de Combustível

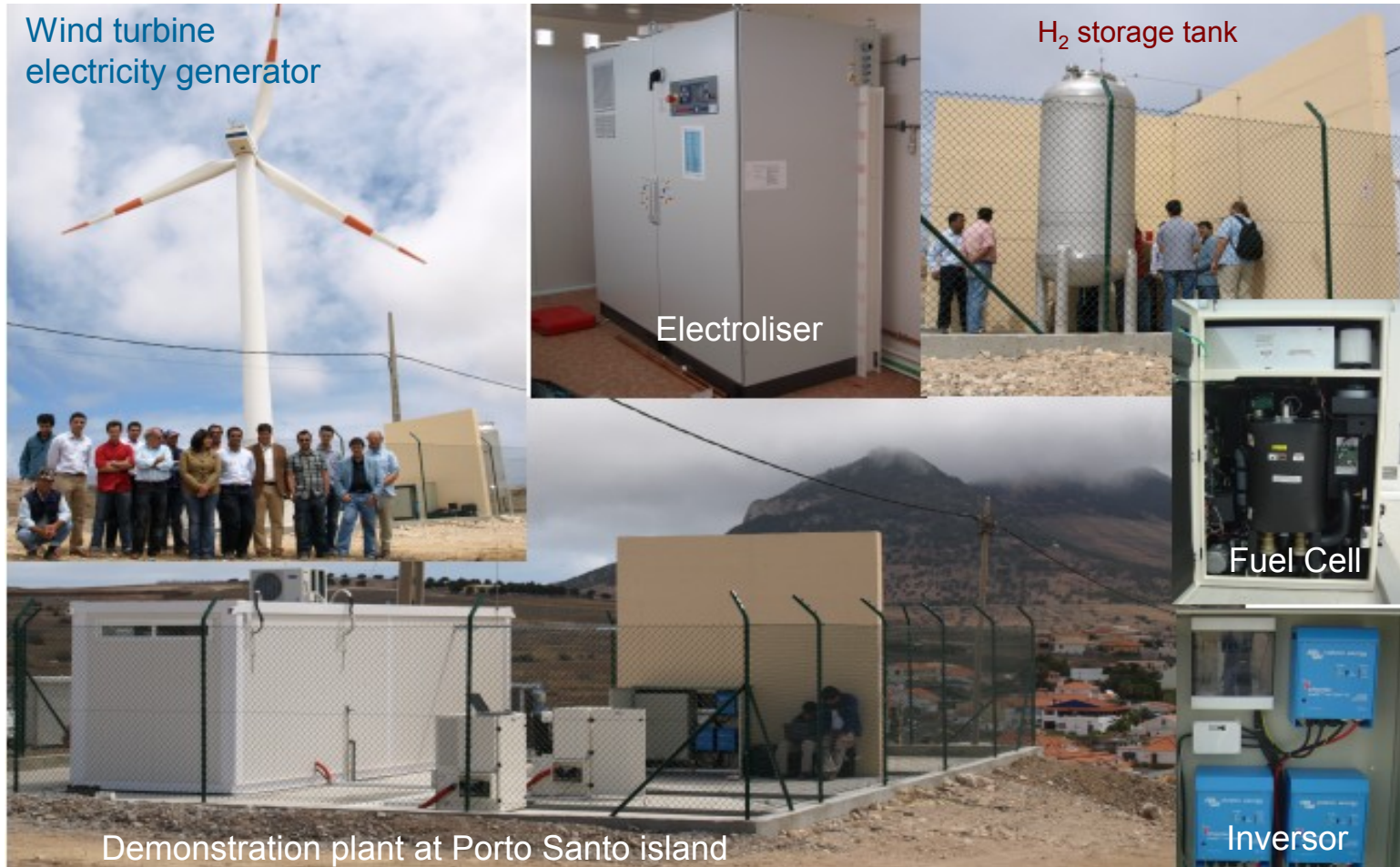
Integração de renováveis e eficiência energética

Central de Armazenamento de Energia através de Hidrogénio – Central de Demonstração em Porto Santo, Madeira



Integração de renováveis e eficiência energética

Central de Demonstração em Porto Santo, Madeira



Sustentabilidade e Alterações Climáticas

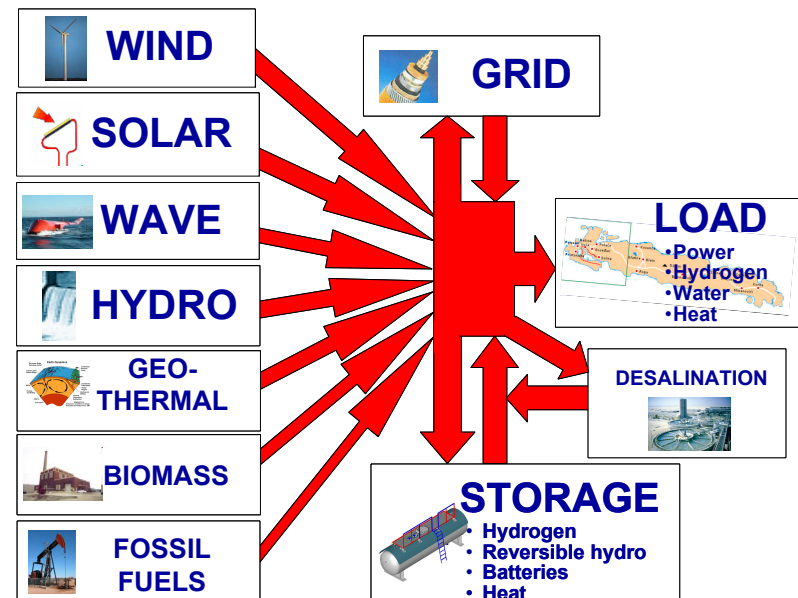
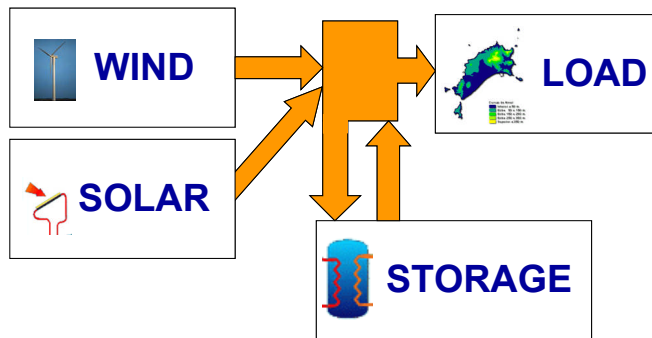
- Políticas de Energia e Planeamento Energético
- Políticas de energia e de Alterações Climáticas Energia para o desenvolvimento
- Promoção de tecnologias energéticas sustentáveis



Políticas de Energia e Planeamento Energético

-Desenvolvimento e Aplicação de um Modelo -

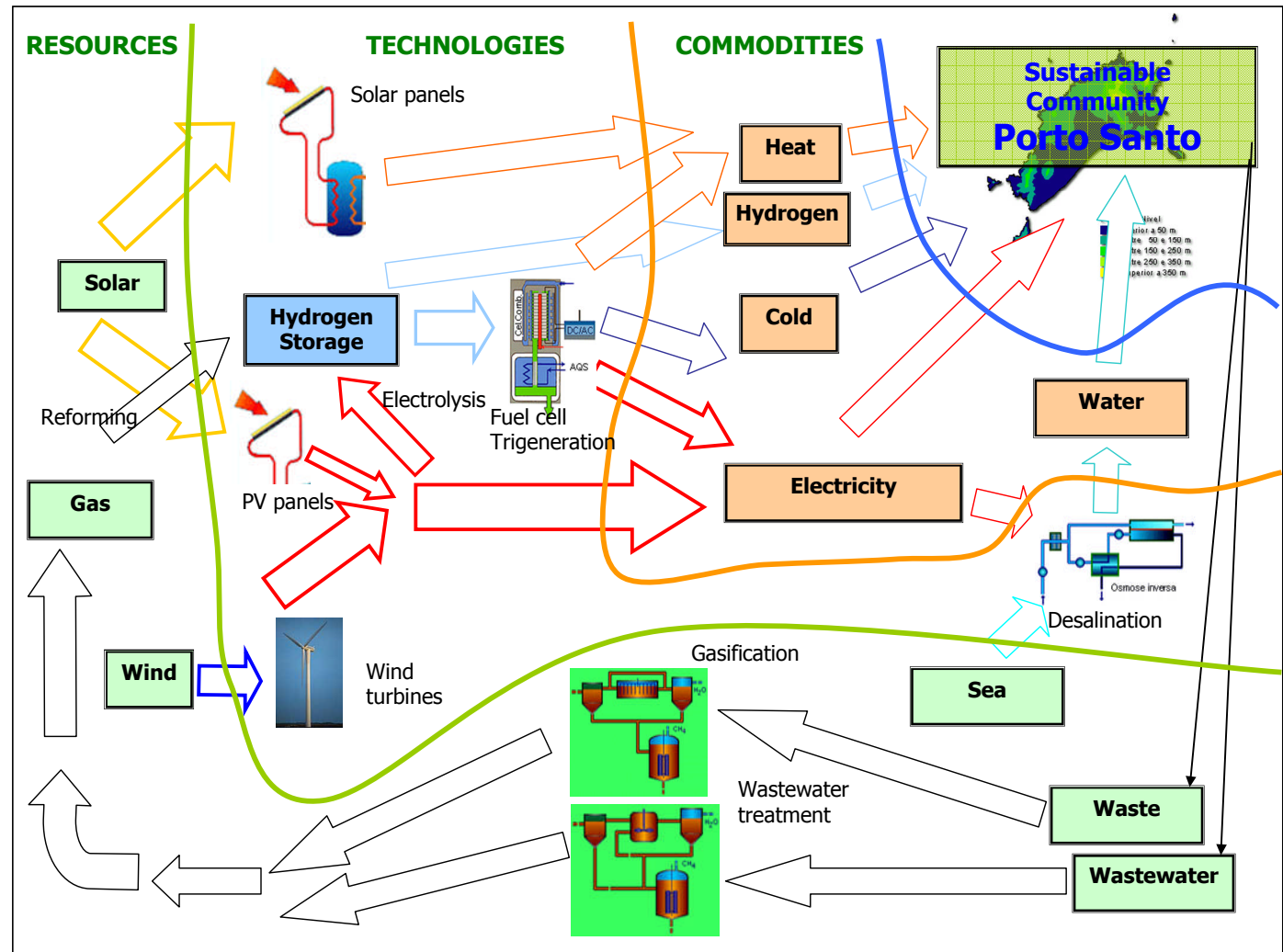
Modelo H2RES - Módulos



Políticas de Energia e Planeamento Energético

-Desenvolvimento e Aplicação de um Modelo -

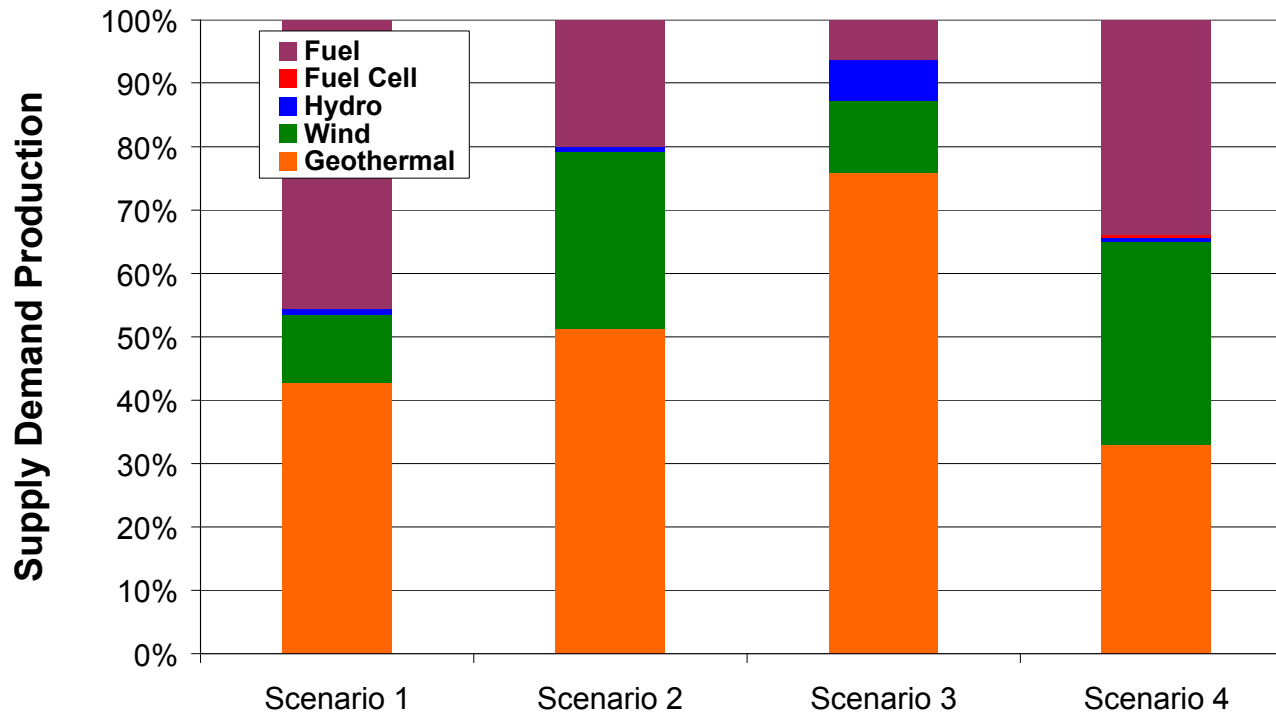
Modelo H2RES – Aplicação a Porto Santo



Políticas de Energia e Planeamento Energético

-Desenvolvimento e Aplicação de um Modelo -

Modelo H2RES – Resultados Típicos (caso: Ilha Terceira, Açores)



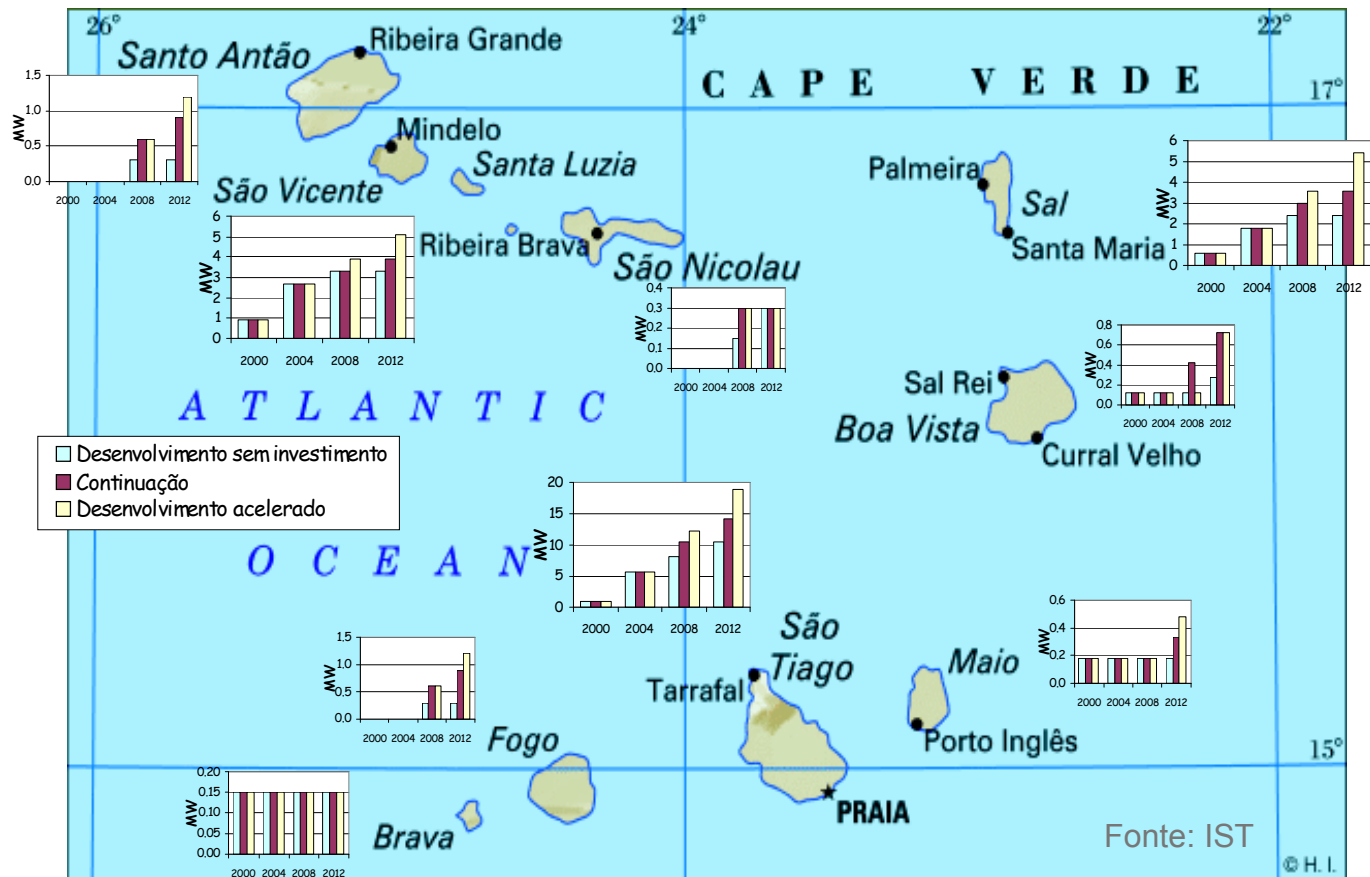
Fonte: STORIES project

Políticas de Energia e Planeamento Energético

- Incluindo os mecanismos de Quioto-

Projecto **CDMSIDS** – “Facilitating the Kyoto Protocol Objectives by Clean Development Mechanism in Small Islands Developing States”

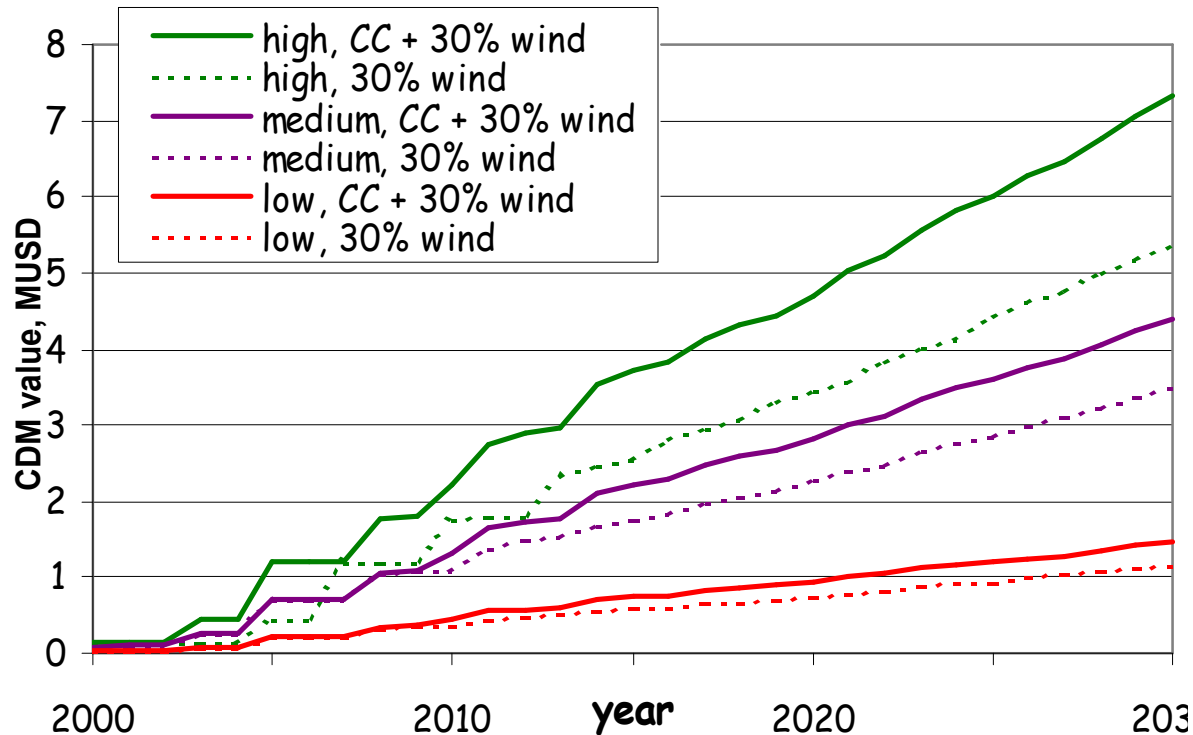
Cenário para turbinas eólicas



Políticas de Energia e Planejamento Energético

- Incluindo os mecanismos de Quioto-

Cenário Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)



Potencial MDL para 2 cenários de produção de electricidade e 3 preços de certificados MDL:

- Alto - 25\$/tCO₂
- Médio - 15\$/tCO₂
- Baixo - 5\$/tCO₂

Cenário Económico BAU

Políticas de Energia e de Alterações Climáticas para o Desenvolvimento

Projecto **IE4Sahel** – “Energy for Poverty Alleviation”

Projecto **ENERGYCENTRAL** – “Strengthening Municipal Action on Renewable Energy in Central America”

Visão

Contribuir para a redução da pobreza através do desenvolvimento e divulgação de políticas energéticas adequadas e sustentáveis e ferramentas de planeamento energético nos países em desenvolvimento

Políticas de Energia e de Alterações Climáticas para o Desenvolvimento



Promoção de Tecnologias Energéticas Sustentáveis

TV ENERGIA – Canal de Televisão na Internet sobre Energia e Eficiência no Consumo

Comunicar Energia Sustentável



Promoção de Tecnologias Energéticas Sustentáveis

PURE – “Promoting the Use of PV systems in the urban environment through demo relay nodes”

STORIES – “Addressing barriers to storage technologies for increasing the penetration of intermittent energy sources”



Participação na definição de política energética europeia e Internacional

Intervenção nas Políticas

- Negociações de Quioto (liderou o pacote de negociações dos Países em Desenvolvimento)
- Envolvimento Pacote Energia-Clima da CE (CE)
- Preparação e participação em diversas COP
- Participação na Legislação das medidas propostas pela CE (Parlamento Europeu)

Conclusões

Foram resumidos:

- Os **desafios**
- As necessidade de **bases científicas** para ir ao encontro dos desafios
- A **aposta na investigação** juntamente com as políticas correctas:
 - ✓ Segurança de Abastecimento
 - ✓ Competitividade
 - ✓ Qualidade do Ar
 - ✓ Alterações Climáticas