Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – Energia Solar

Energia Solar

Aspectos Técnicos e Económicos Relativos à Integração de Sistemas Fotovoltaicos em Redes Eléctricas

J. A. Peças Lopes

Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia

2005/2006

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – Energia Solar

Introdução

- **Aumento da Produção de origem Fotovoltaica:**
  - Integração na rede eléctrica;
  - Sistemas isolados.
- **Utilização como resultado de:**
  - Necessidade da redução de emissões de CO_2
  - Autonomia de sistemas isolados.
- **Política da UE de incentivo ao aumento da Produção Distribuída:**
  - Incentivos ao investimento;
  - Financiamento de projectos de Investigação e Demonstração.

2005/2006

Painéis Solares Fotovoltaicos

- **Elementos**

Custos de investimento típicos:
5000 €/kWe

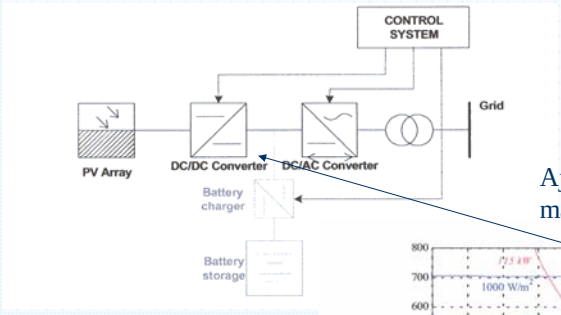
Instalação Física de PV

Building Integration PV (BIPV)

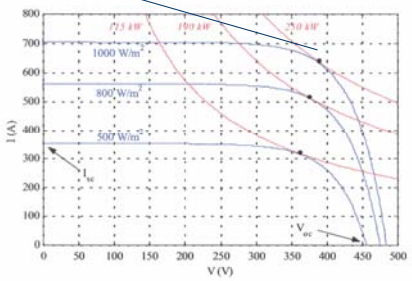
BIPV

Outras soluçõe envolvem revestimentos de superfícies (vidros, revestimentos, Telhas, etc.) com filmes finos.

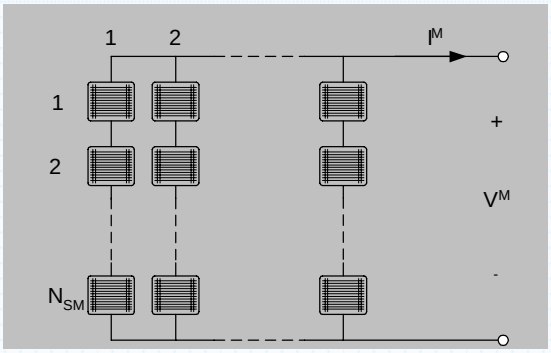
Estrutura típica de um sistema PV



Ajuste para o ponto de maior potência

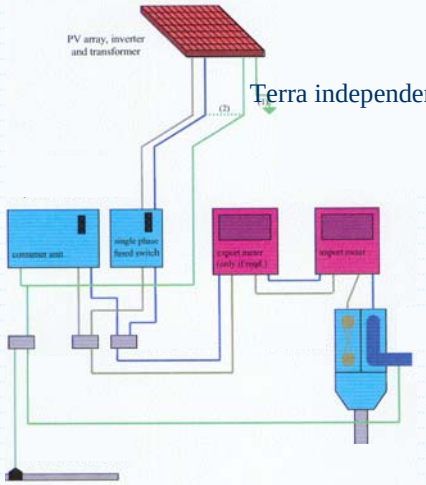


Ligação de Módulos de Células PV

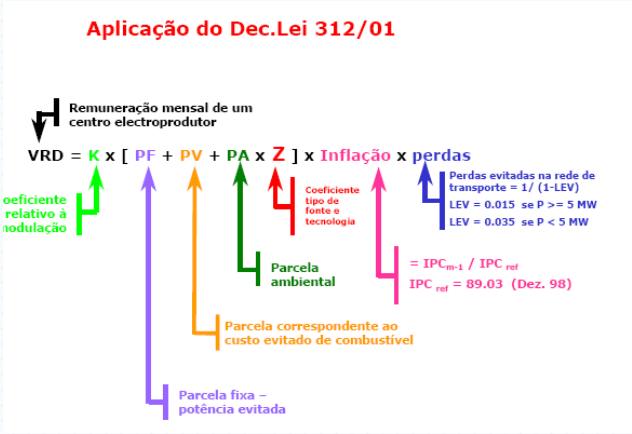


Ligação de um Sistema PV num Edifício

- **Baixa Tensão**



Remuneração da Energia Eléctrica - PV



Da apresentação APREN (Sá da Costa); Jan 05

Remuneração da Energia Eléctrica - PV

VRD = K x [PF + PV + PA x Z] x Inflação x perdas

Centros sem modulação K = 1.0

Centros com modulação K = KMHO

$KMHO = (KMHO_{pc} \times ECR_{pc} + KMHO_{v} \times ECR_{v}) / ECR$

$KMHO_{pc}$ factor de modulação das horas de ponta e cheias (1.15)
ECR_{pc} energia mensal produzida nas horas de ponta e de cheia

$KMHO_{v}$ factor de modulação das horas de vazio (0.80)
ECR_{v} energia mensal produzida nas horas de vazio

ECR energia mensal produzida

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – Energia Solar

Remuneração da Energia Eléctrica - PV

VRD = K x [PF + PV + PA x Z] x Inflação x perdas

$PF = PF(U)_{ref} \times COEF \times POT_{med}$

$PF(U)_{ref}$ = 5.4369 € / kW = 5 436.9 € / MW

COEF = ECR / (576* x POT) ECR = energia mensal

POT_{med} = min { POT ; [ECR / (24 x 30)]} * 576 = 0.80x24x30

VRD = K x [PF + PV + PA x Z] x Inflação x perdas

$PV = PV(U)_{ref} \times ECR$

$PV(U)_{ref}$ = 0.0249 € / kWh = 24.9 € / MWh

ECR = energia mensal

2005/2006

Remuneração da Energia Eléctrica - PV

- **Parcela ambiental**

VRD = K x [PF + PV + PA x Z] x Inflação x perdas

$PA = ECE(U)_{ref} \times CCR_{ref} \times ECR$

$ECE(U)_{ref} = 0.000075$ € / g CO_2 = 75 € / t CO_2

$CCR_{ref} = 370$ g CO_2 / kWh = 0.37 t CO_2 / MWh

$ECE(U)_{ref} \times CCR_{ref} = 75$ € / t CO_2 x 0.37 t CO_2 / MWh = 27.75 / MWh

ECR = energia mensal

Z centrais fotovoltaicas

Z = 6.55 para centrais acima de 5 kW

Z = 12.0 para centrais até 5 kW

Remuneração da Energia Eléctrica - PV

- **Remuneração definida pelo Decreto-Lei 33/A de 16 Fev2005**
  - Mudancas

VRD = K x [PF + PV + PA x Z] x Inflação x perdas

$PV = PV(U)_{ref} \times ECR$

$PV(U)_{ref} = 0.0240$ € / kWh = 24.0 € / MWh

Novo valor 36.0 €/MWh

ECR = energia mensal

VRD = K x [PF + PV + PA x Z] x Inflação x perdas

$PA = ECE(U)_{ref} \times CCR_{ref} \times ECR$

$ECE(U)_{ref} = 0.000075$ € / g CO_2 = 75 € / t CO_2

Novo valor 20.0 €/t CO_2

$CCR_{ref} = 370$ g CO_2 / kWh = 0.37 t CO_2 / MWh

$ECE(U)_{ref} \times CCR_{ref} = 75$ € / t CO_2 x 0.37 t CO_2 / MWh = 27.75 / MWh

$ECE(U)_{ref} \times CCR_{ref} = 20$ € / t CO_2 x 0.37 t CO_2 / MWh = 7.4 €/ MWh

ECR = energia mensal

Remuneração da Energia Eléctrica - PV

- **Mudanças no factor de majoração ambiental (tecnologia solar PV)**

Z centrais fotovoltaicas	Até 150 MW	
~~Z = 6.55~~ para centrais < 5 kW	Z = 52.0	21 GWh até 15 anos
~~Z = 12.0~~ para centrais > 5 kW	Z = 35.0	21 GWh até 15 anos

Fotovoltaica <= 5kW e 1 200 h	460.83	460.15
Fotovoltaica > 5kW e 1 200 h	266.86	323.01

Valores actuais de remuneração

Ligação à rede pública da microgeração PV

- **Legislação actual**
  - Desadequada (licenciamento de instalações até 150 KW para auto-consumo (50%) e entrega do restante a terceiros ou à rede pública é regulado pelo DL 68/2002)
  - Remuneração definida pelos 33/A de 2005 ou pelo 68/2002
  - Principais pontos:
    - **Requer um processo complexo com: PIP e processo de licenciamento a entregar na DGGE (Lisboa) – processo semelhante ao requerido para uma central de 400 MW (CCGT);**
    - **Não foram definidas as regras técnicas para ligação à rede, utilizando-se legislação muito antiga.**

Ligação à rede pública da microgeração PV

- **Novas propostas**
  - Simplificação, descentralização e desburocratização dos processos de licenciamento e ligação à rede;
  - Terminar com a obrigatoriedade do auto-consumo; as instalações são condicionadas apenas à capacidade de recepção da rede eléctrica em cada local;
  - Remuneração:
    - **Se micro-produção com FER (solar PV): aplica-se tarifas DL 33-A/2005**

Ligação à rede pública da microgeração PV

- **Soluções técnicas a adoptar (seguindo procedimentos adoptados no Reino Unido (G83/1) e proposta de norma Europeia CENELEC (prEN50438):**
  - Instalações de produção Grupo I e II
    - **Grupo I: BT com Is<16 A / fase – 3,7 kVA monofásico e 11,1 kVA trifásico;**
    - **Grupo II: BT com Is> 16 A / fase.**
  - Adoptar para as instalações do Grupo I um procedimento simplificado de licenciamento (tipo *Inform and fit* ?)
  - Utilização de equipamentos homologados, certificados e a instalar por instaladores qualificados
  - O promotor da instalação de produção e o titular do contrato de cliente de electricidade devem ser os mesmos

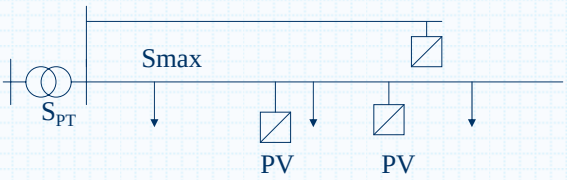
Ligação à rede pública da microgeração PV

- **Condições técnicas de segurança**
  - Não é permitido o funcionamento em rede isolada por forma a garantir a segurança de pessoas (técnicos do distribuidor e utilizadores dos equipamentos) → sistemas de detecção de falta da rede proncipal (Rocof, min U, etc);
  - O neutro da instalação de produção, quando existir, deve ser ligado ao neutro da rede receptora. O aparelho de corte da interligação à rede deve interromper todos os condutores activos, incluindo o neutro, se existir.

Ligação à rede pública da microgeração PV

- **Condições técnicas:**
  - O ΣS_i das instalações de produção ligadas a uma linha de baixa tensão < (Smax)/2.

    Smax - capacidade de térmica da linha de BT no ponto de ligação
  - O ΣS_i das instalações de produção não equipadas com interfaces do tipo inversor electrónico ligadas ao mesmo Ponto de Recepção não poderá superar 30% da potência de transformação instalada nesse ponto.

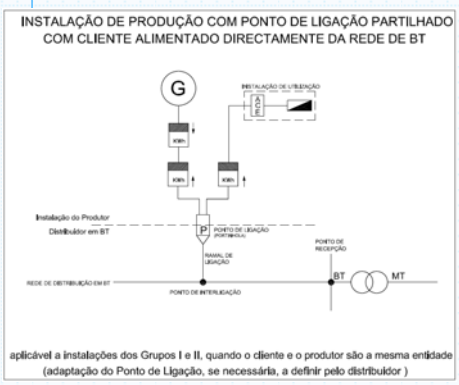


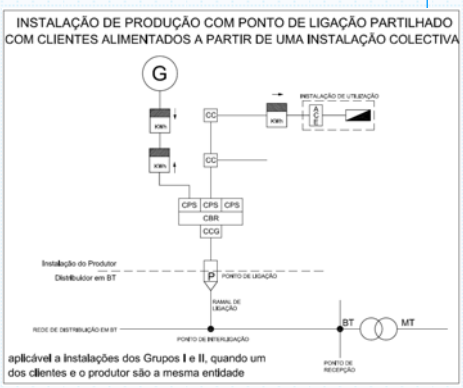
Ligação à rede pública da microgeração PV

- **Protecções:**
  - Seccionador manual, (equipado com fusível). Acessível ao operador da rede, de forma a permitir a este a separação manual da instalação de micro-produção da rede de distribuição em BT.
  - Interruptor automático diferencial, de sensibilidade adequada, para protecção de pessoas contra contactos indirectos.
  - Interruptor automático de interligação, para desconexão e re-ligação automática da instalação de produção, para:
    - **Máx e min U (1,15 --- 0,85 pu)**
    - **Máx e min f (50,5 --- 49,5 Hz)**

Contagem de energia

- **Contagem**





Problemas nas Redes

- **Injecção de harmónicos na rede;**
- **Produção de "flicker" (*Flutuações de irradiação solar*);**

Qualidade da onda

- **Funcionamento em rede isolada:**
  - Segurança de pessoas (utilizadores e pessoal da concessionária)
  - Necessidade de coordenação de protecções com a rede pública;
    - **Relés de protecção de mínimo de tensão e de frequência**

Problemas

- **Religação automática rápida na rede pública:**
  - Necessidade de detecção de situações de rede isolada;
  - Flutuações de tensão da rede;
  - Contribuições para um curto-circuito;

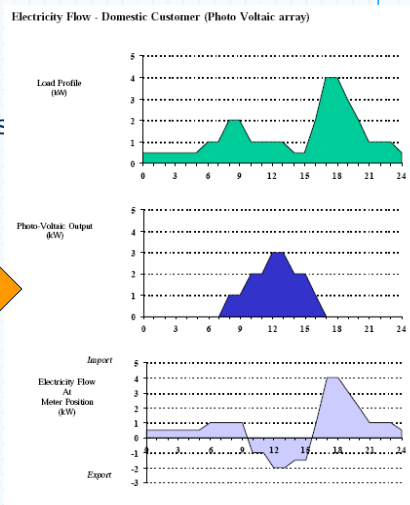
Funcionamento como fonte de corrente

Grande problema para as protecções

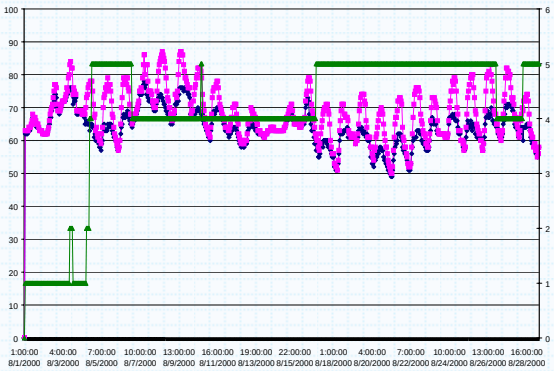
- **Protecções contra descargas atmosféricas.**

Impacto da produção PV nas redes

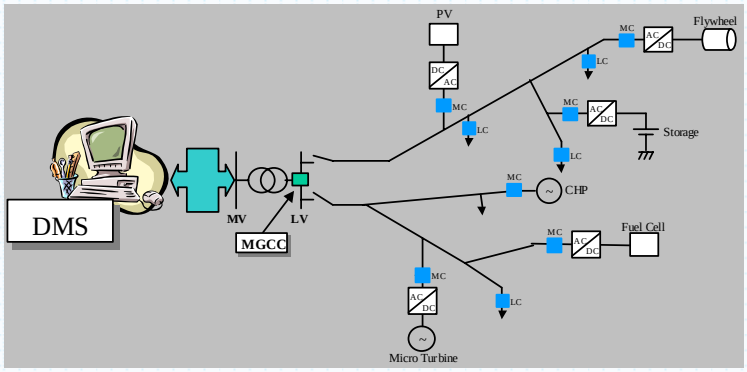
- **Impacto técnico esperado:**
  - Redução de perdas
  - Melhoria dos perfis de tensão
  - Descongestionamento de ramos
  - Inversão do TP



Previsão da Produção Solar PV



O Conceito de MicroGrid



MGCC – Micro Grid Central Controller;

MC – Micro Source Controller;

L C – Load Controller.

A desenvolver em outras Disciplinas ....

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e Computadores
Perfil Energias Renováveis – Energia Solar

Conclusões

- **Standardização das soluções de ligação à rede (tipo de conversor e protecções);**
- **As companhias distribuidoras devem preparar-se tecnicamente para acomodar este tipo de produção nas suas redes de BT;**
- **Necessidade de futuramente definir alguma regulamentação para permitir a integração na rede pública desta produção.**

Estudo e desenvolvimento do conceito de micro-rede