

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO SOL

PROF. TRAJANO VIANA, DR. ENG.

30/09 E 14/10 - 2011

1 - Fundamentos da Energia Solar

1 - Fundamentos da Energia Solar

• Radiação solar

A radiação solar é uma forma de transferência de energia advinda do Sol, através da propagação de ondas eletromagnéticas:

→ luz

→ calor

→ O Sol dista em média cerca de 150.000.000 km da Terra.

→ As radiações emitidas pelo Sol atingem a camada externa da atmosfera terrestre com intensidade que depende da distância Sol-Terra.

→ A intensidade média da radiação solar (irradiância) que chega ao topo da atmosfera é conhecida como “constante solar” (G_0),

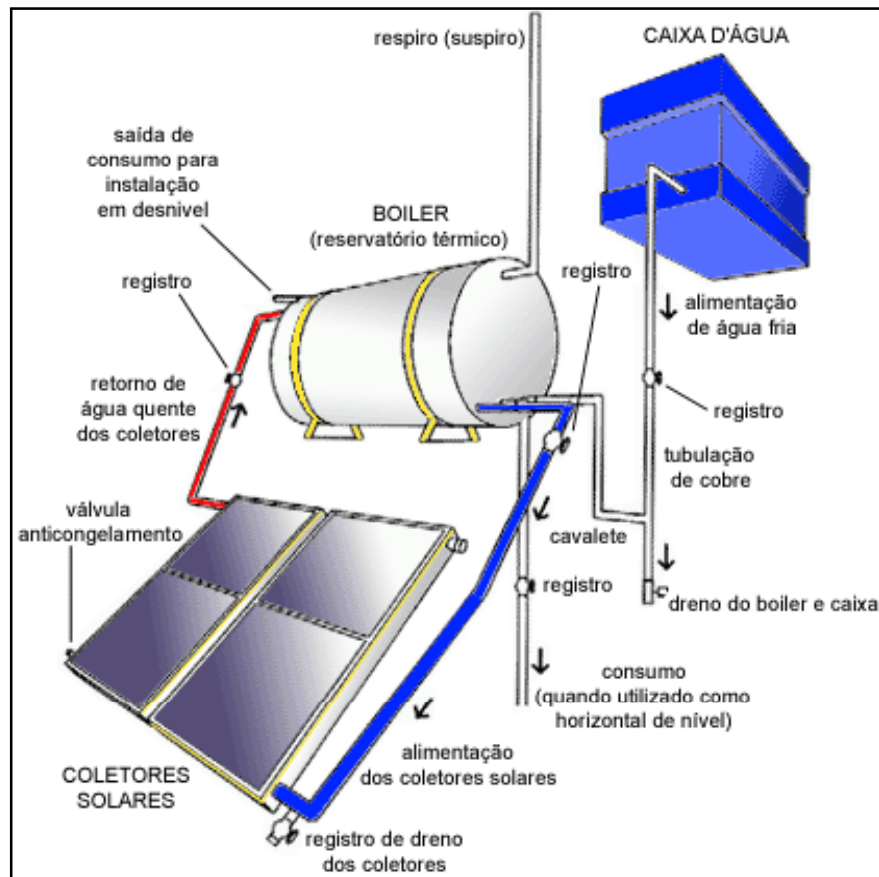
$$G_0 = 1.366 \text{ W/m}^2$$

• Potencial energético do Sol

→ 3 semanas de energia solar recebida na Terra equivale à energia de todas as reservas de combustíveis fósseis conhecidas.

1 - Fundamentos da Energia Solar

- **Coletores solares térmicos para aquecimento de água**
 - **Baixa temperatura** – aquecimento de água em residências, hotéis, clubes, hospitais, etc.



1 - Fundamentos da Energia Solar

- **Concentradores solares térmicos para geração de energia elétrica**

- **Alta temperatura** – produção de vapor para movimentar as pás de uma turbina acoplada a um gerador elétrico.

- Geração indireta de energia elétrica.

Calha
Parabólica



Disco
Parabólico



Plantas com Calhas Parabólicas

1 - Fundamentos da Energia Solar

- **Módulos solares fotovoltaicos sem concentrador para geração de energia elétrica**
 - Geração direta de energia elétrica pelo **efeito fotovoltaico**.
 - Sistemas de pequena potência (W, kW) ou de grande potência (MW).
 - Atualmente é a tecnologia mais usual para geração de energia elétrica a partir da energia solar.



Módulos
Fotovoltaicos



1 - Fundamentos da Energia Solar

- **Sistemas solares fotovoltaicos com concentrador (SFVC)**

→ Plantas Fotovoltaicas - Sistemas de grande potência (kW, MW)



Concentrador parabólico



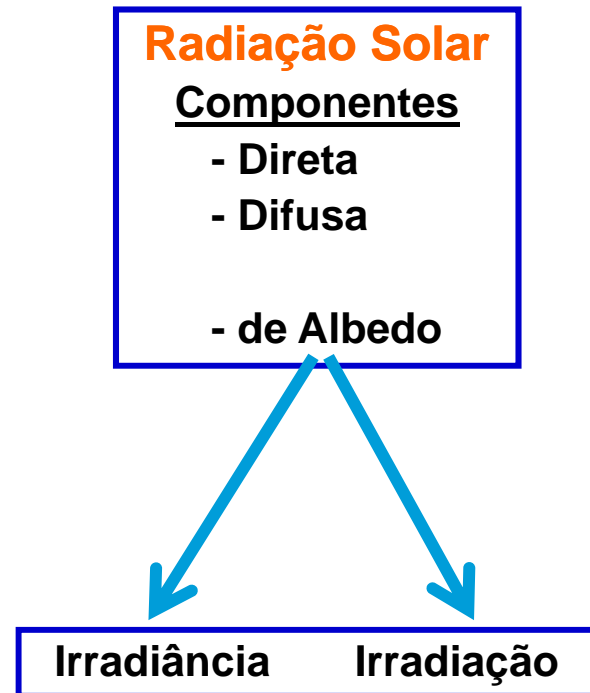
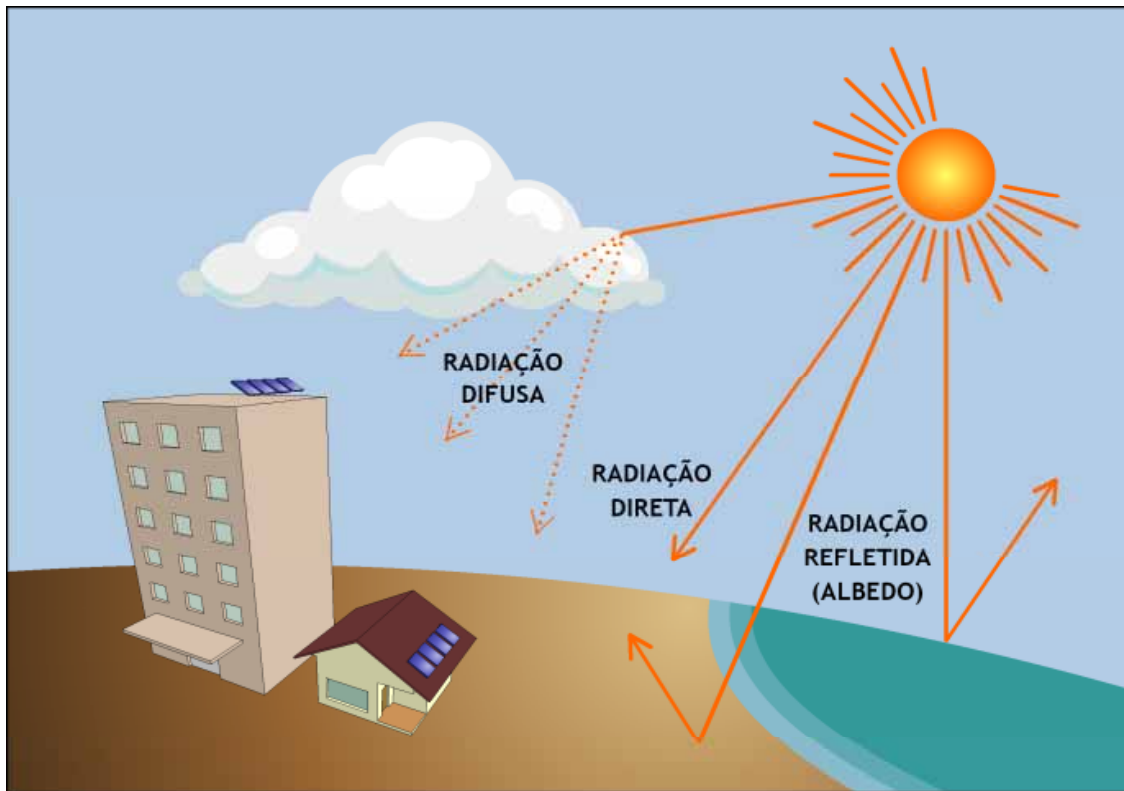
Concentrador com lente de Fresnel



Planta fotovoltaica com SFVC

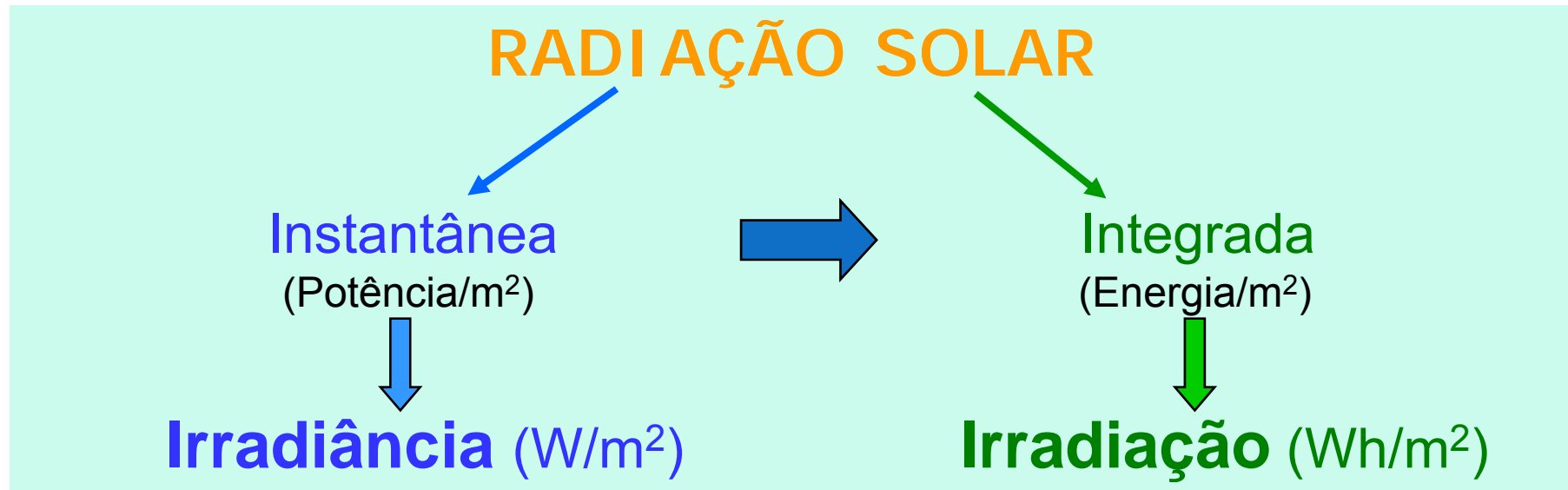
1 - Fundamentos da Energia Solar

- **Componentes da radiação solar** → direta, difusa e devida ao albedo
 - Radiação global (ou horizontal) – com as componentes direta e difusa, recebida em uma superfície plana horizontal.
 - Radiação total (ou inclinada) – com as componentes direta, difusa e de albedo, recebida em uma superfície plana com inclinação qualquer.



1 - Fundamentos da Energia Solar

- Radiação solar → Unidades



Unidades usuais	
Irradiância →	W/m ² kW/m ²
↓	
Irradiação →	Wh/m ² /dia kWh/m ² /dia kWh/m ² /ano

1 - Fundamentos da Energia Solar

- Medição da irradiância → Instrumentos

→ Piranômetro



→ Sensor de silício

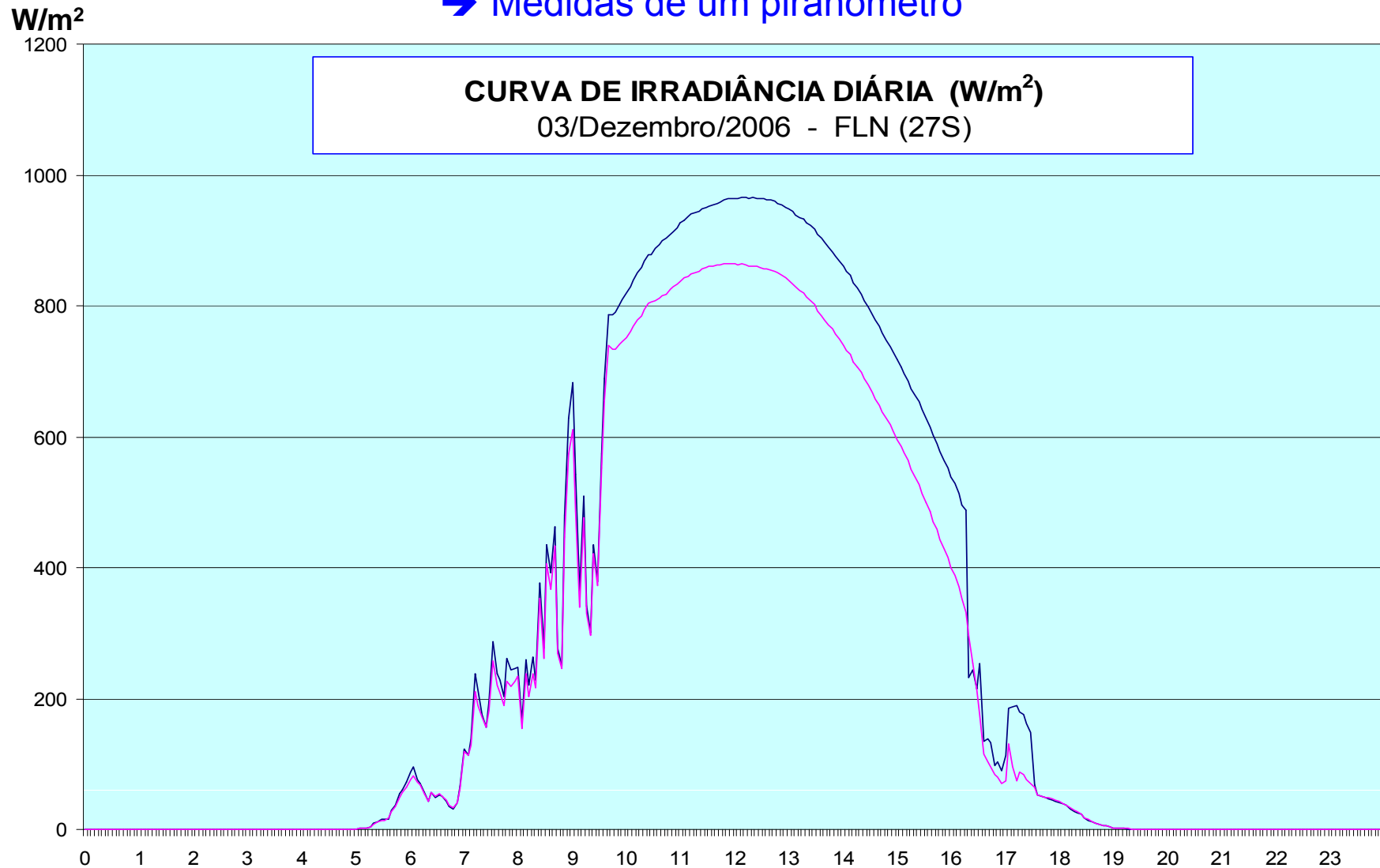


A **irradiação** ($\text{kWh/m}^2/\text{dia}$) é calculada com os dados de **irradiância** (W/m^2), medidos pelo piranômetro ou outro tipo de sensor.

1 - Fundamentos da Energia Solar

- Comportamento horário da irradiância (W/m^2)

→ Medidas de um piranômetro



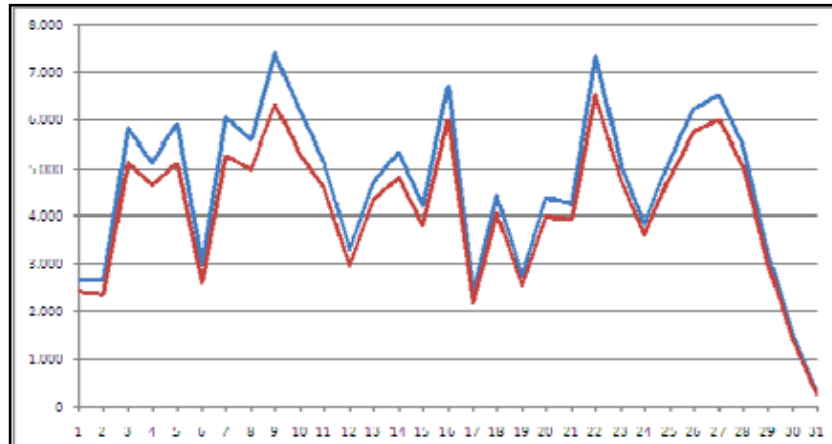
1 - Fundamentos da Energia Solar

• Comportamento da irradiação

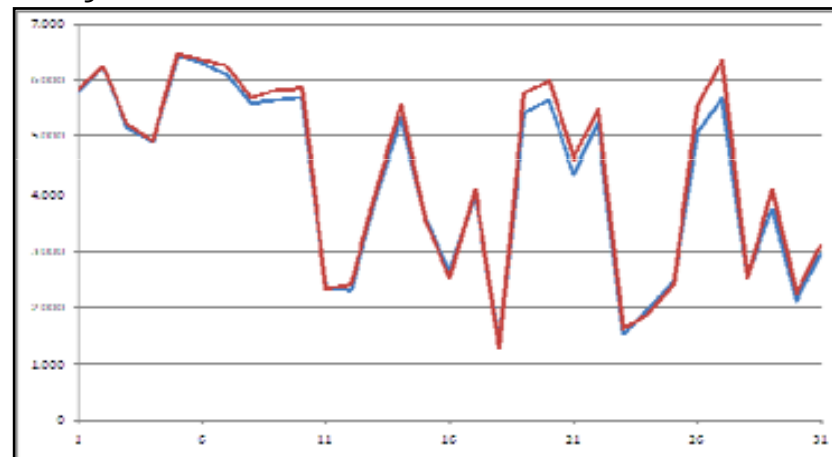
- Ao longo do mês (Wh/m²/dia)

Horizontal e Inclinada (27°)

Janeiro

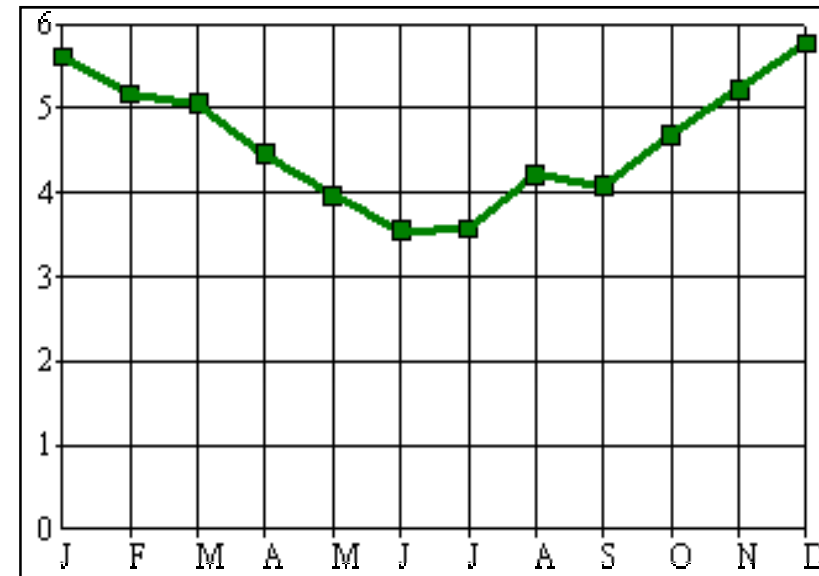


Março



- Ao longo do ano (kWh/m²/dia)

→ Inclinada (27°)



1 - Fundamentos da Energia Solar

- **Procedimentos para levantamento do recurso solar**

- **Radiômetros e modelos computacionais**

- **Radiômetros** – medem a irradiância
 - **Estações solarimétricas no solo** → instalação, distribuição espacial, manutenção, coleta de dados, ...
- **Modelos computacionais** – estimam a irradiância ou irradiação a partir de dados meteorológicos e de outros tipos.
 - **Validação dos dados** → baseada em dados medidos, obtidos de estações solarimétricas.

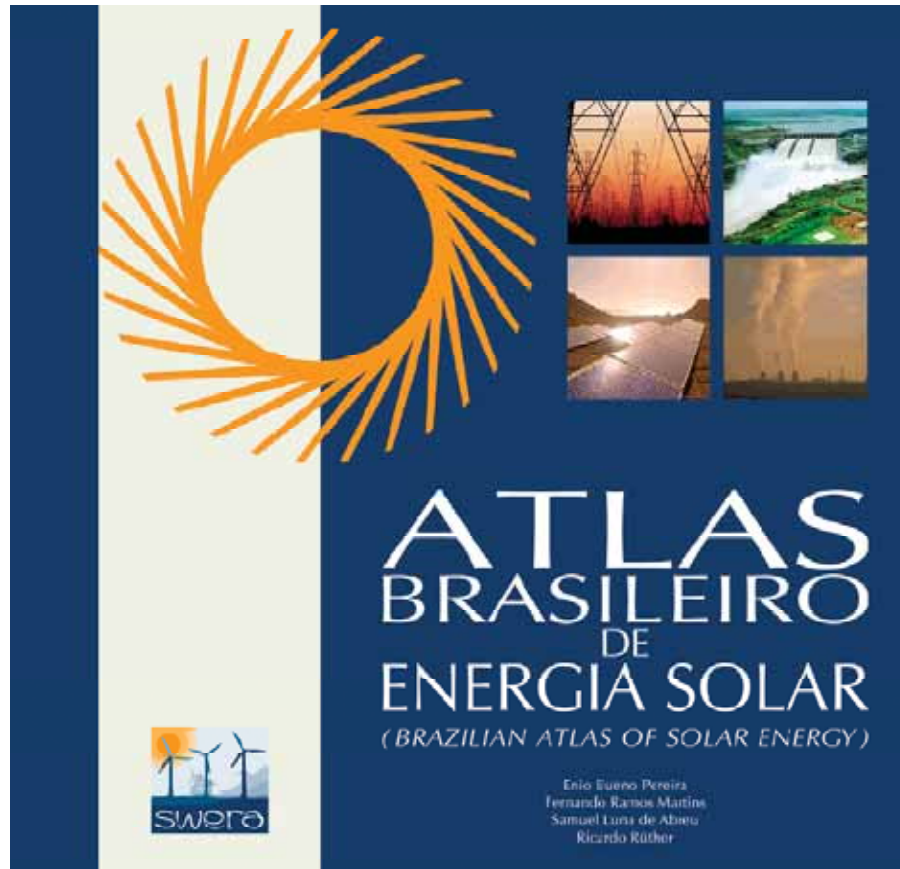
- **Incertezas e erros**

- **Bancos de Dados de Irradiação**

- Dados históricos → 10 anos ou mais → média histórica
- Dados de irradiância => cálculo da Irradiação
- Estações Solarimétricas → no solo
- Modelos → Dados de satélite => Modelo BRASIL-SR (INPE)
- INPE → Projeto **SWERA** → **ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**
(SWERA = *Solar and Wind Energy Resource Assessment*)

1 - Fundamentos da Energia Solar

- **Potencial Solar Brasileiro → Atlas Brasileiro de Energia Solar**



Modelo BRASIL-SR

BASE DE DADOS

O modelo BRASIL-SR fornece estimativas de fluxo de radiação solar na superfície utilizando informações de nebulosidade extraídas de imagens de satélite geoestacionário e de dados climatológicos de variáveis ambientais para modelar a composição da atmosfera e os processos radiativos que nela ocorrem. Dessa forma, uma extensa base de dados de satélite e dados coletados em superfície foi necessária para o mapeamento do fluxo de radiação solar incidente no território brasileiro.

- Mapas de irradiação global horizontal e inclinada (inclinação igual à latitude)
- Mapas sazonais e anuais
- CD-ROM anexo → Banco de dados

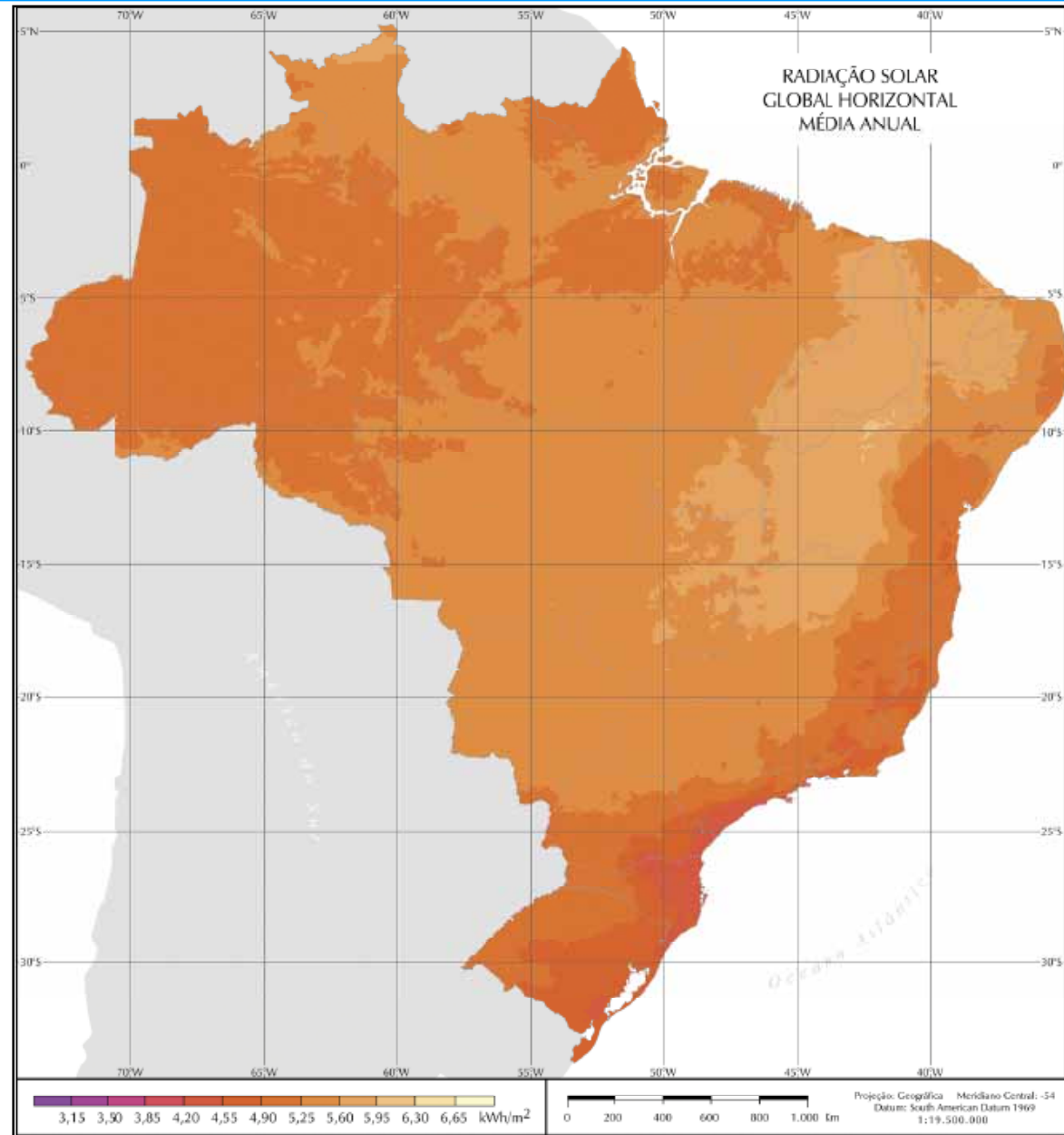
1 - Fundamentos da Energia Solar

- Atlas Brasileiro de Energia Solar

Mapa de Irradiação
Global
(Horizontal)

H_{HOR}

Média diária anual
kWh/m²/dia



1 - Fundamentos da Energia Solar

- Atlas Brasileiro de Energia Solar

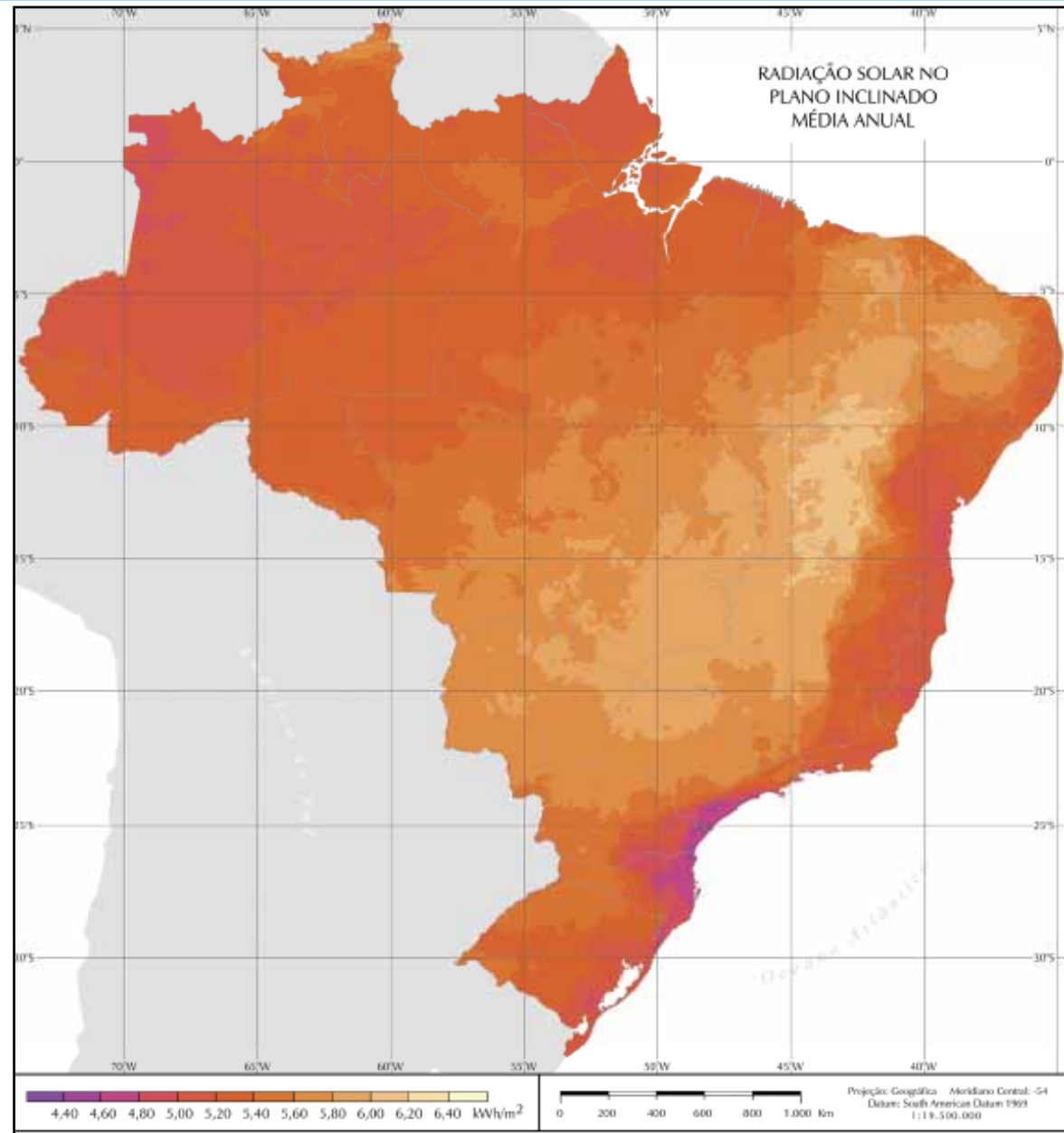
Mapa de Irradiação Total

(Inclinação igual à latitude local)

H_{TOT}

Média mensal

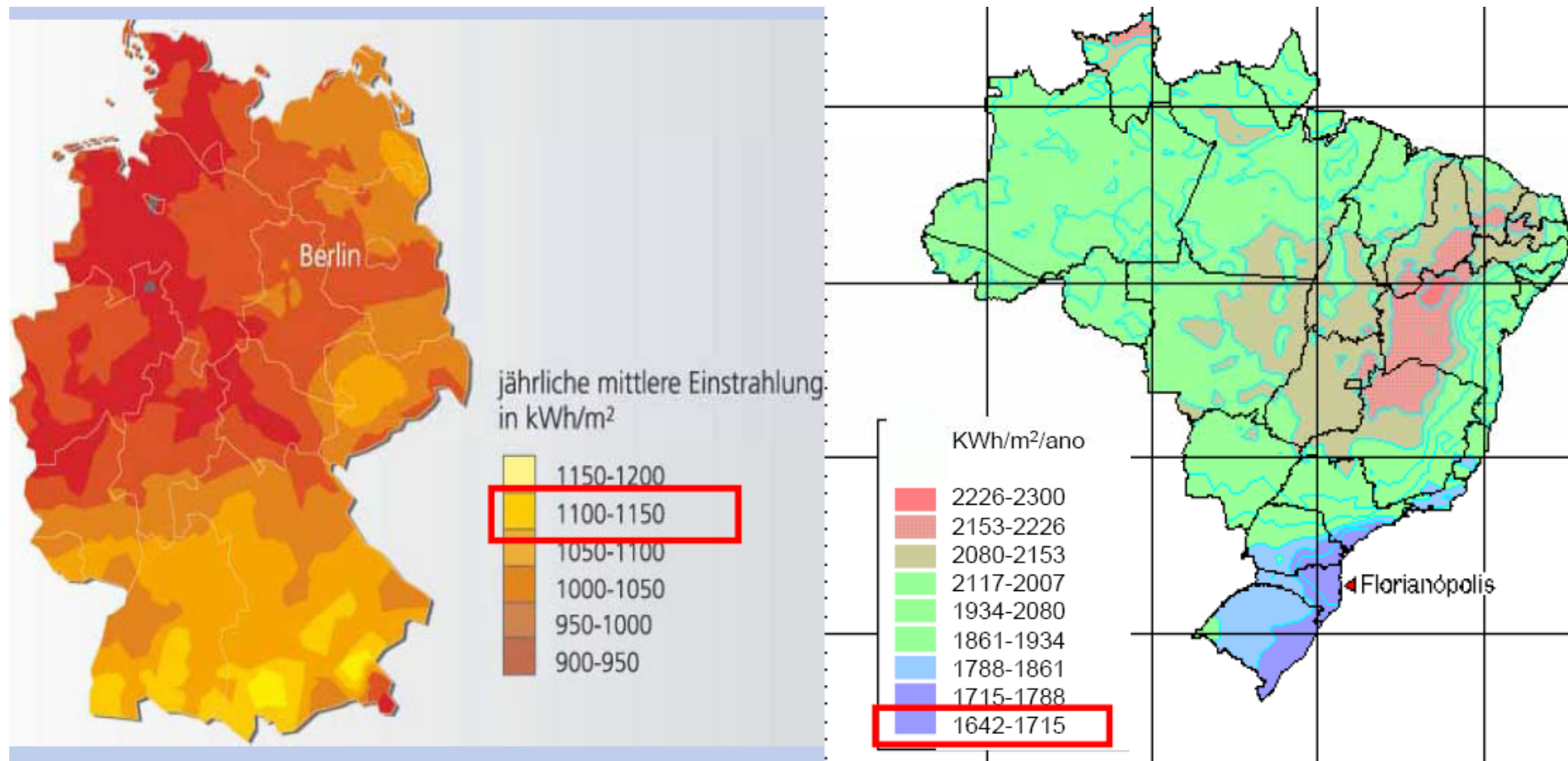
kWh/m²/dia



1 - Fundamentos da Energia Solar

ALEMANHA x BRASIL

Irradiação (kWh/m²/ano)



2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

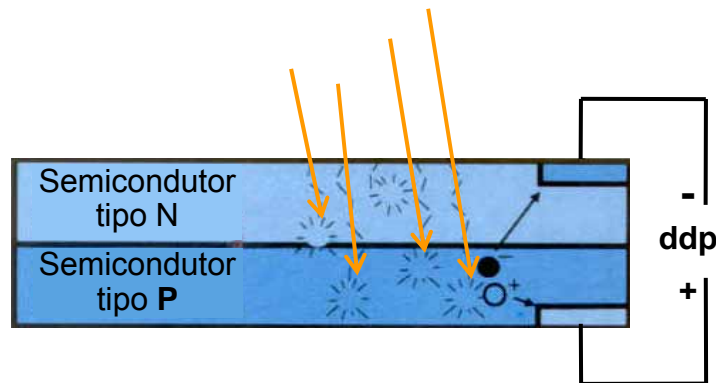
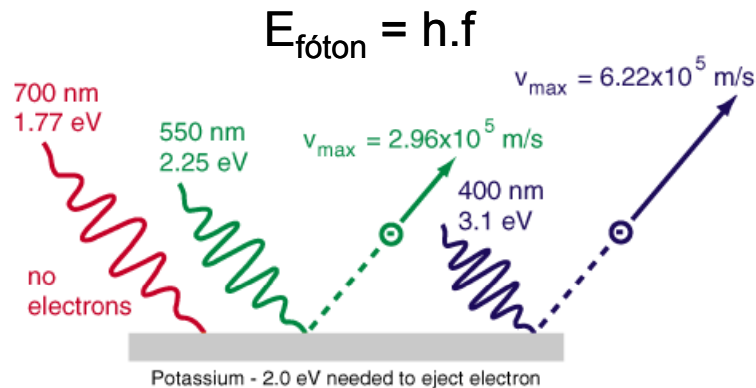
• Tecnologia Solar Fotovoltaica

- Alta tecnologia, mas é simples de utilizar
- Não poluente e fonte renovável
- Não produz ruído
- Baixa manutenção
- Operação desassistida
- Altamente confiável
 - ➔ uso em satélites
- Instalações desde baixa potência (W) até MW.
- Característica modular
 - ➔ o sistema pode ser ampliado conforme a necessidade



2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

• Efeito Fotoelétrico x Efeito Fotovoltaico



Efeito Fotoelétrico

- É caracterizado pela emissão de elétrons para fora da superfície de um material quando este é exposto à luz.
- Elétrons serão ejetados se a energia da radiação for suficiente, isto é:

$$E_{\text{fóton}} = h.f > E_{\text{material}}$$

No caso do potássio, $E_{\text{material}} = 2 \text{ eV}$

- Os elétrons tendem a retornar ao material.

Efeito Fotovoltaico

- É caracterizado pelo surgimento de uma diferença de potencial (ddp) entre os terminais de um dispositivo semicondutor (PN) quando este é exposto à luz.
- A ddp surge devido à formação de pares elétron-lacuna dentro do material. Os elétrons fotogerados são movidos para o material N (terminal -) e as lacunas em direção ao material P (terminal +).
- Elétrons e lacunas são mantidos afastados devido à barreira de potencial existente no interior do dispositivo (V_B). Os elétrons podem circular pelo circuito externo e recombinar com as lacunas.

2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

- **Efeito Fotovoltaico**

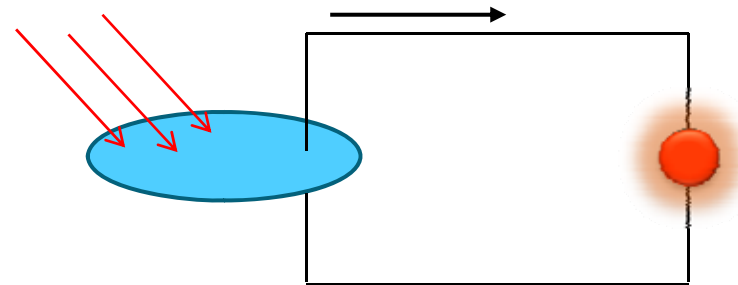
- Conversão direta da energia da energia solar (principalmente o espectro visível) em energia elétrica.
- Célula fotovoltaica → elemento que realiza a conversão



CB-SOLAR / PUC RS

Foto: Trajano Viana

Célula fotovoltaica de silício



- A tecnologia solar fotovoltaica é diferente da tecnologia solar térmica, que utiliza o calor (radiação infravermelha) para aquecimento.

2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

• Tecnologias de Células e Módulos Fotovoltaicos

• **Tecnologia tradicional** → lâminas de silício cristalino (“*wafers*”)

- Silício monocristalino (m-Si)
- Silício policristalino (p-Si)

→ Cerca de 80% da produção mundial de módulos é baseada no silício cristalino (m-Si e p-Si)

• **Novas tecnologias** → filmes finos – depositados sobre substratos rígidos ou flexíveis

- Silício amorfo (a-Si)
- Telureto de cádmio (CdTe)
- Disseleneto de cobre e índio (CIS)
- Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)
- Silício micromorfo ($\mu\text{c-Si/a-Si}$)

2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

• Elementos Fotovoltaicos

- **Célula fotovoltaica** - dispositivo elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica.
- **Módulo fotovoltaico** - Unidade básica formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.



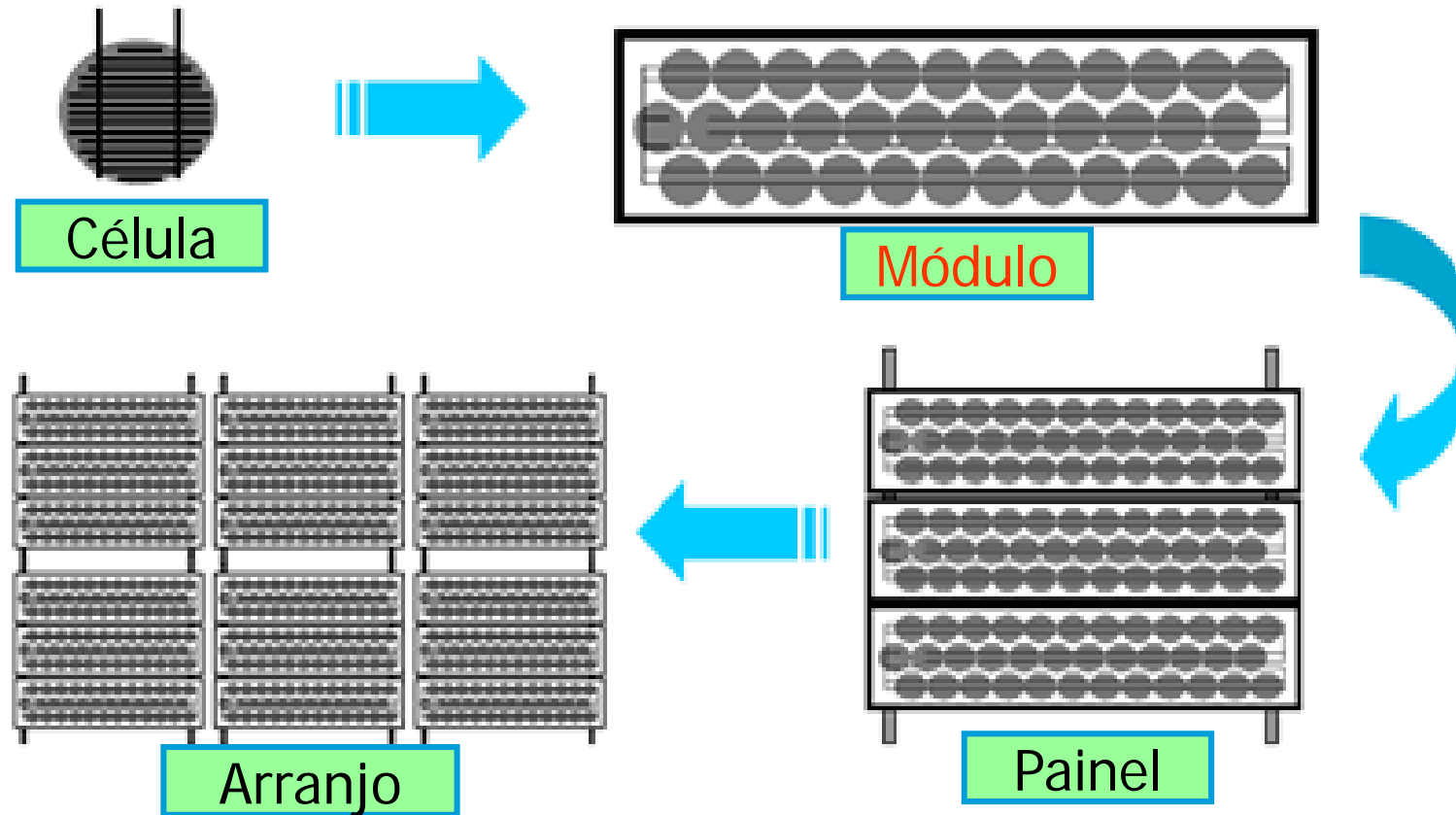
Representação esquemática de um módulo fotovoltaico.

O triângulo indica o pólo positivo.

- **Painel fotovoltaico** - Um ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente, montados de modo a formar uma única estrutura.

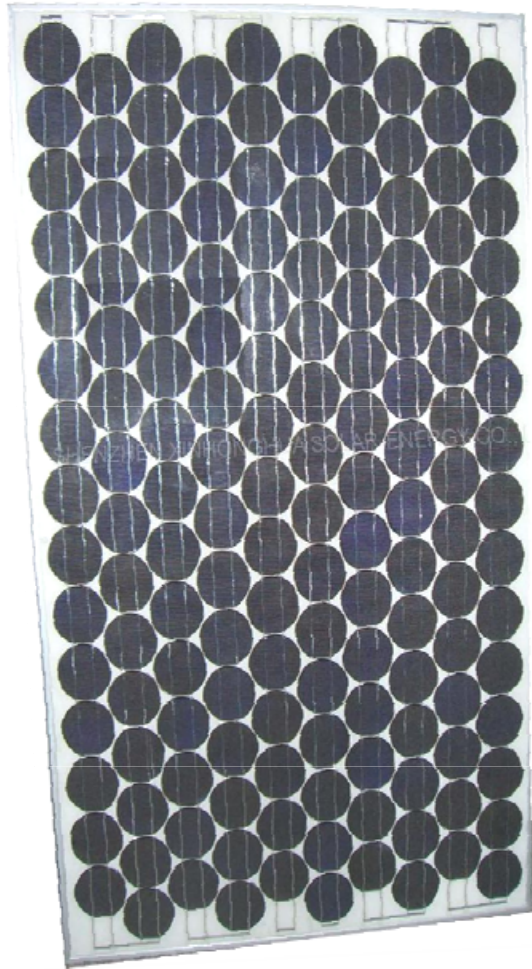
2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

- Elementos Fotovoltaicos



2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

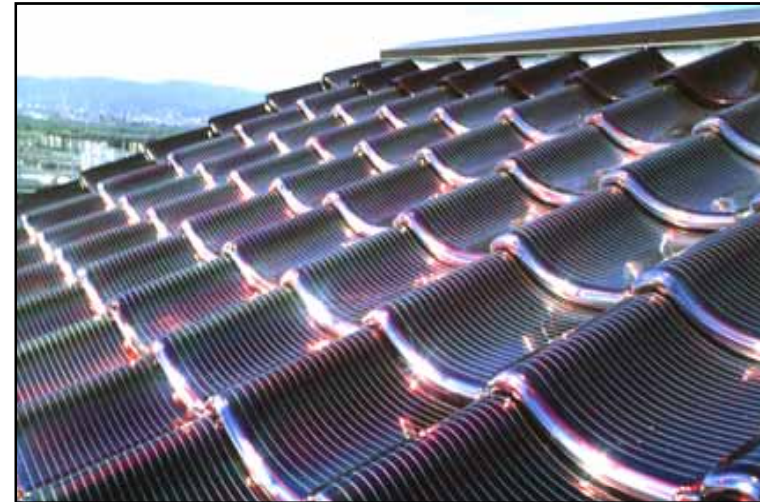
- **Módulos de silício cristalino** → Tecnologia tradicional
 - Silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si)



2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

- **Módulos de filme fino** → Novas tecnologias

- Silício amorfo (a-Si)
- Telureto de cádmio (CdTe)
- Disseleneto de cobre e índio (CIS)
- Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)
- Silício micromorfo ($\mu\text{c-Si/a-Si}$)



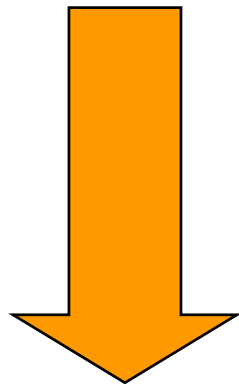
2 - Fundamentos da Tecnologia Fotovoltaica

- **Módulos de filme fino** → Principais Características
 - Utilizam pouca matéria prima
 - c-Si** - 180 μ m (0,18mm) de espessura
 - a-Si** - 1 μ m (0,001mm) de espessura
 - Substratos → rígidos (vidro) ou flexíveis (aço inoxidável)
 - planos, curvos, transparentes
 - Boa aparência estética
 - elementos arquitetônicos
 - módulos FV semitransparentes => luz natural
 - Integração monolítica entre células
 - Células multijunção - V_{OC} elevado
 - Processos automatizados => baixo custo de produção, se produzidos em grande escala.

3 – Sistemas Fotovoltaicos

Sistemas Fotovoltaicos - Conceitos

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



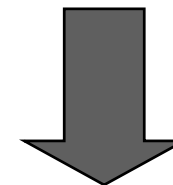
GERAR ENERGIA ELÉTRICA
DIRETAMENTE A PARTIR DA
ENERGIA DO SOL

ENERGIA SOLAR



Sistemas Fotovoltaicos

Duas Configurações Básicas:

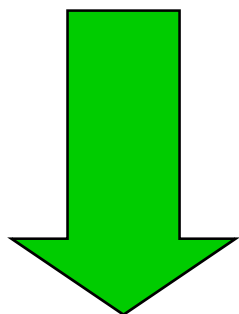


=> **Sistemas Isolados**

=> **Sistemas Conectados à Rede**

Sistemas Fotovoltaicos - Tipos

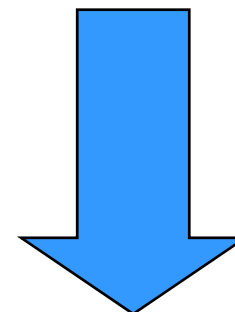
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS



ATENDIMENTO DE LOCAIS SEM
ACESSO À REDE ELÉTRICA
(OU APLICAÇÕES ESPECIAIS)

→ A ENERGIA GERADA É
ARMAZENADA

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA



GERAÇÃO DESCENTRALIZADA
DE ENERGIA ELÉTRICA
(OU PLANTA CENTRALIZADA)

→ A ENERGIA GERADA É
INJETADA NA REDE

3 - Sistemas Fotovoltaicos

- **Tipos de sistemas fotovoltaicos**

- **Sistemas fotovoltaicos isolados (SFVI)**

- Não possuem conexão com o sistema público de fornecimento de energia elétrica.
 - Normalmente são instalados em locais sem acesso à rede elétrica.
 - A energia elétrica gerada normalmente é armazenada em baterias.
 - Podem ser projetados para alimentar cargas CC e/ou cargas CA.
 - Podem atender a um consumidor (SFVI individual) ou a vários consumidores (SFVI em minirrede).
 - Podem ser utilizados para atender cargas especiais.

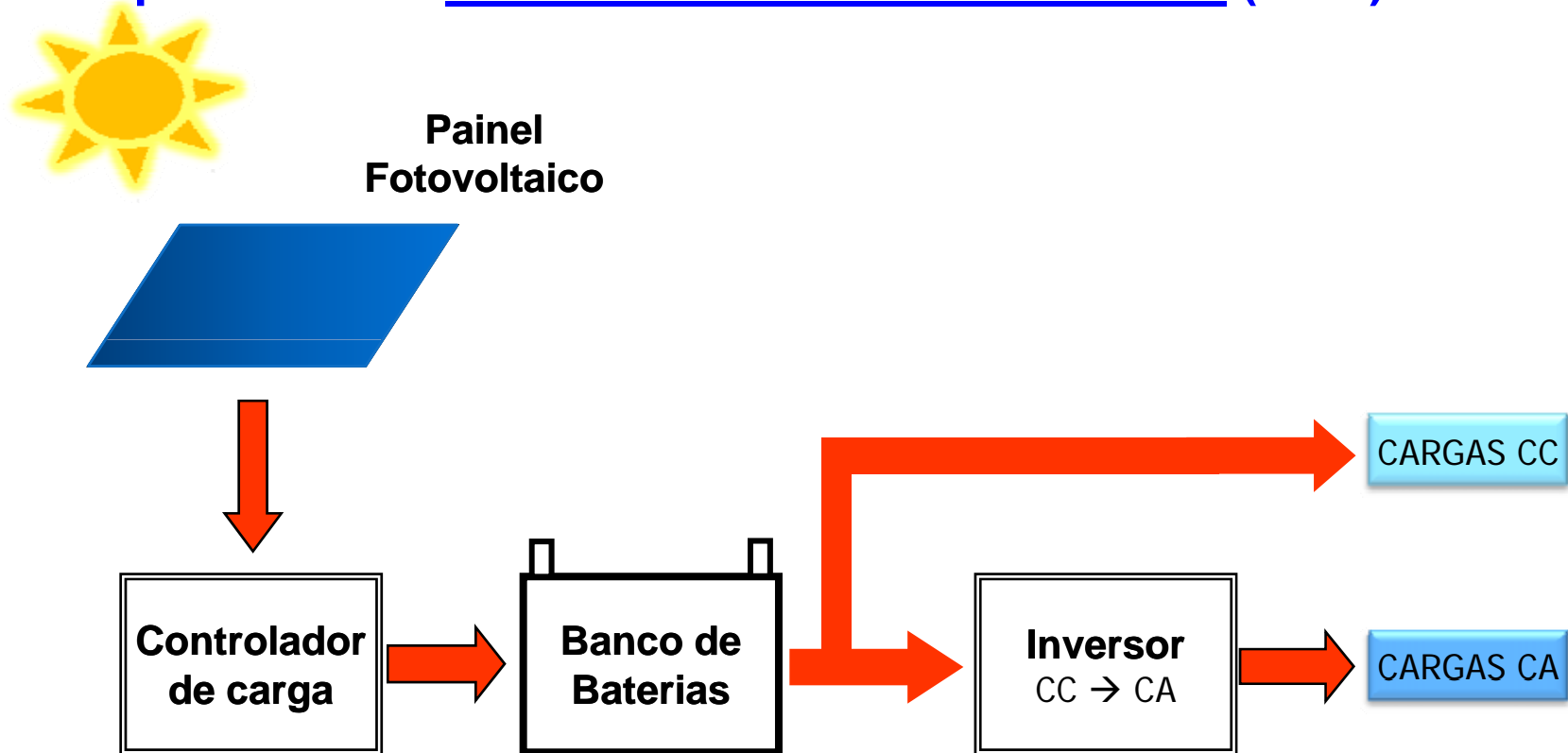
- **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR)**

- São efetivamente conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica.
 - A energia elétrica gerada é injetada diretamente na rede elétrica.
 - Não possuem elementos para armazenar energia.
 - Podem ser instalados integrados a edificações, proporcionando geração distribuída, ou instalados em locais amplos, atuando como uma central geradora.

Componentes e Exemplos de Sistemas Fotovoltaicos (sem concentração)

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistemas FV Isolados

- Componentes de Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI)

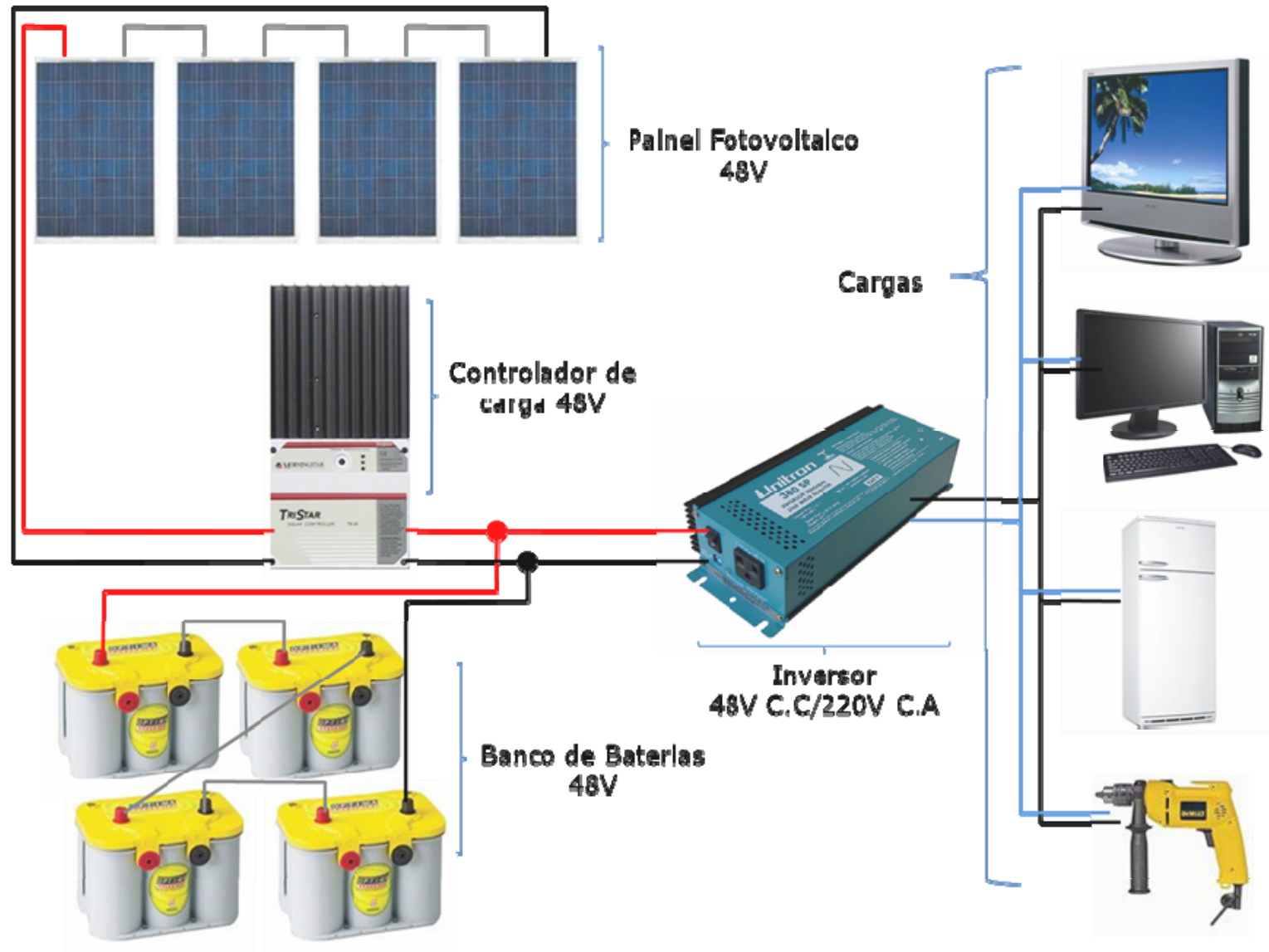


Componentes

- Panel fotovoltaico → Módulos fotovoltaicos
- Controlador de carga
- Banco de baterías
- Inversor

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistemas FV Isolados

- Diagrama pictográfico de um SFVI



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistemas FV Isolados

- Acre



Sistemas FV Isolados
Acre – Xapurí
Módulos (p-Si) - 3X85Wp
2 Baterias estacionárias 150Ah

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistemas FV Isolados

- Acre



Sistemas FV Isolados
Acre – Xapurí
Módulos (p-Si) - 3X85Wp
2 Baterias estacionárias 150Ah

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistemas FV Isolados

- Ilha de Ratoes, Florianópolis



Sistema para alimentação da Ilha
Painel (p-Si) - 4.676Wp
20 Baterias Estacionarias 180Ah



Bombeamento de água
Painel - 4 x 64Wp (a-Si)

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistemas FV Isolados

- Ilha do Arvoredo, Florianópolis



Farol da Ilha do Arvoredo

Painel (p-Si) - 13 kWp



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistemas FV Isolados

• Cargas especiais → UFSC, Florianópolis

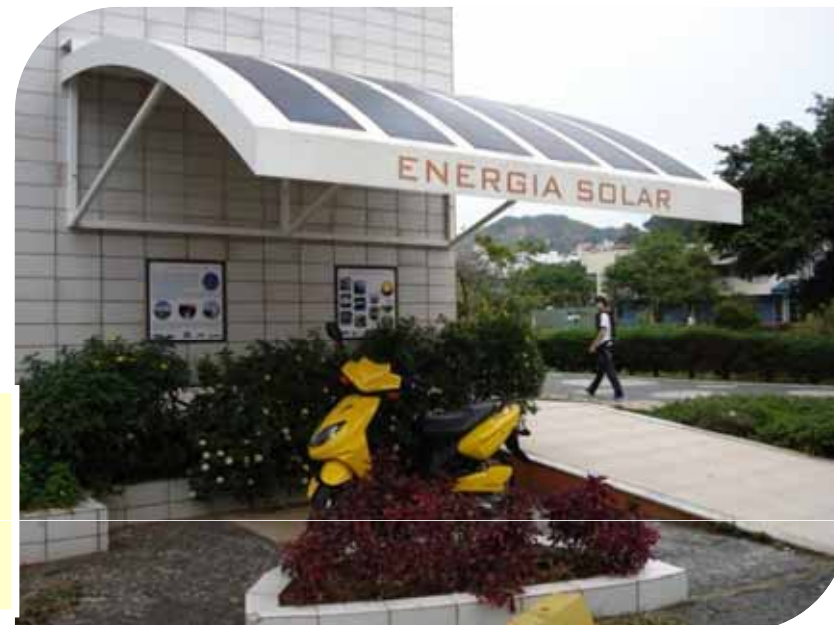
Sistema de Iluminação de Emergência

- Rampas de acesso ao auditório
- Módulos rígidos (a-Si) - 6 x 64Wp
 - instalados verticalmente na fachada norte - forma alusiva à figura do Sol
- Controlador de carga e 2 baterias estacionárias 12V/220Ah



Posto de Energia Solar

- **Motocicleta Elétrica**
 - Painel - 6 x 64Wp (a-Si)
 - Controlador de carga
 - 8 baterias estacionárias 12V/220 Ah



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistemas FV Isolados

- Cargas especiais

Veículo assistido por Energia Solar



Veículo assistido por Energia Solar

- Painel (a-Si) - 3 x 64Wp
- Controlador de carga
- 6 baterias tracionárias 6V/225 Ah
- Motor elétrico 3HP – 36V

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- **Principais características dos SFVCR**

- ✓ Operam com conexão à rede elétrica pública.
- ✓ A energia gerada é injetada na rede elétrica. Não necessitam de elemento armazenador.
- ✓ Na falta da rede elétrica (desligamento para manutenção ou falha) os SFVCR se desconectam automaticamente da rede, deixando de fornecer energia, evitando o ilhamento.
 - Segurança da rede e dos usuários
- ✓ Quando a rede elétrica é restabelecida, automaticamente os SFVCR se reconectam e passam a fornecer energia à rede.
- ✓ Utilizados como forma de geração distribuída, integrados a edificações urbanas (kW).
- ✓ Utilizados para geração centralizada, com grande potência instalada (MW).

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Tipos de SFVCR

- SFVCR integrados a edificações - geração distribuída (GD)
 - *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV)
 - Sistemas na faixa de kW a MW
- SFVCR em plantas fotovoltaicas – geração centralizada
 - Sistemas da ordem de 10 MW, 25 MW, 50 MW, ...



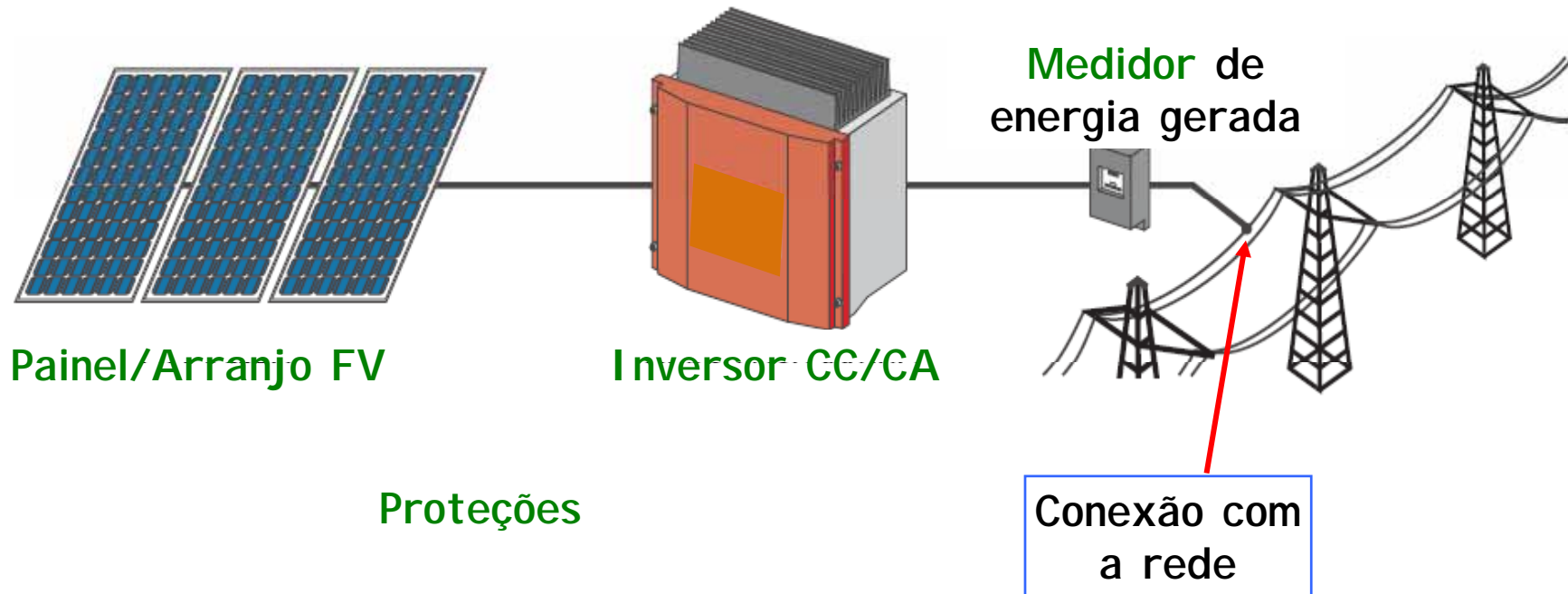
3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Componentes dos SFVCR

- Painel Fotovoltaico
- Inversor(es)
- Dispositivos de medição, aquisição de dados e monitoramento
 - Medidores - kWh
 - Sensores de radiação solar e de temperatura
 - Coleta e armazenamento de dados (*data logger*)
- Diversos:
 - dispositivos de manobra e proteção
 - dispositivos de aterramento
 - fiação elétrica
 - conectores
 - estruturas de fixação.

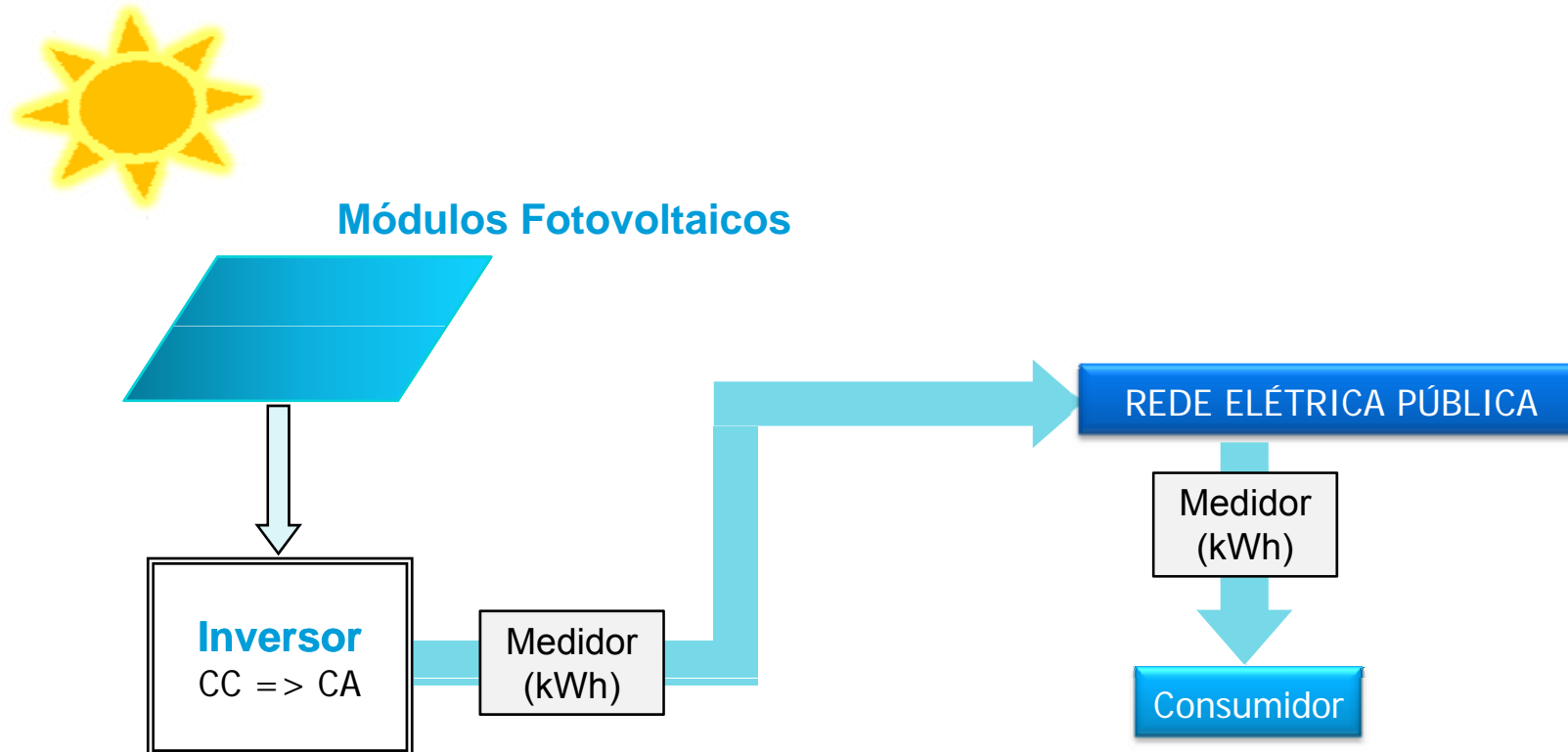
3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Componentes básicos de um SFVCR



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR)

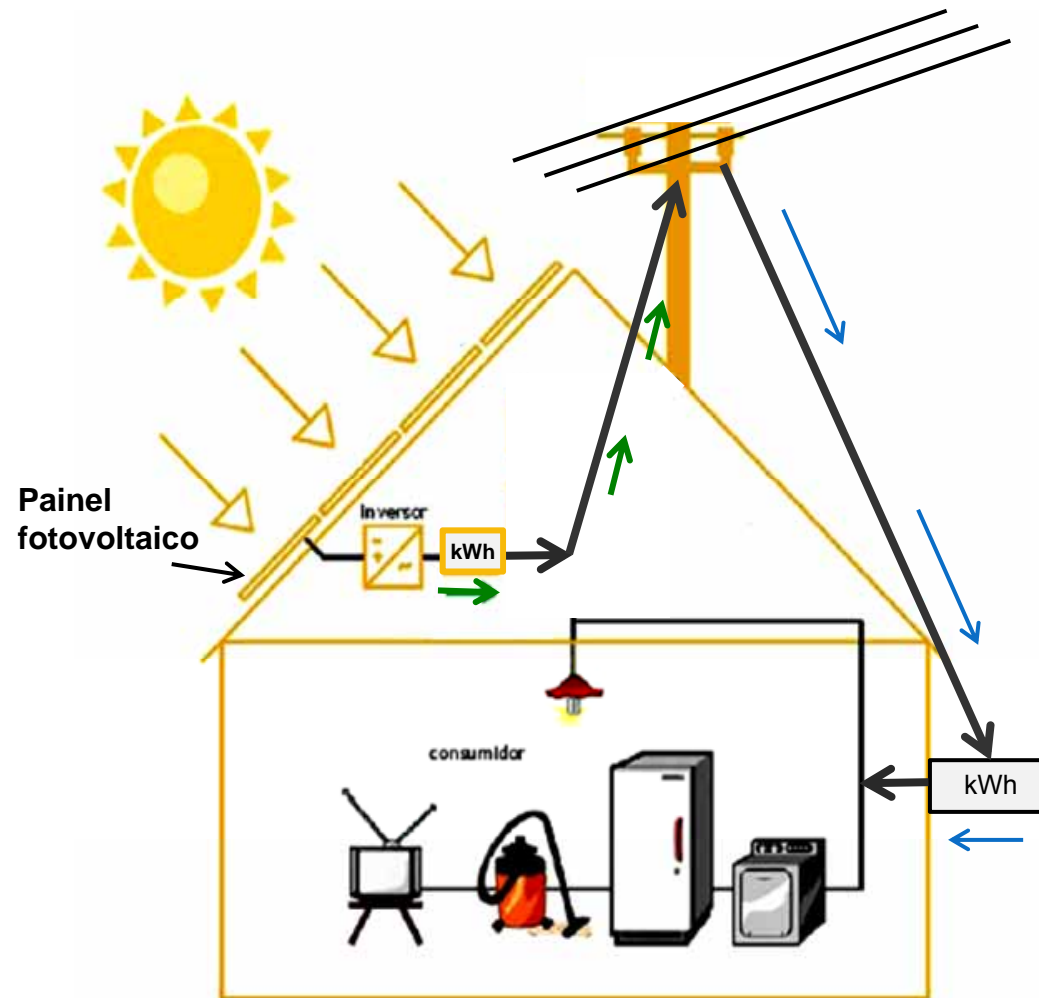


Componentes básicos

- Painel fotovoltaico → Módulos fotovoltaicos
- Inversor
- Medidor de energia (kWh)

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Ilustração de um SFVCR integrado a uma edificação



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações → Módulos de silício cristalino



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações → Munique, Alemanha



Foto: Trajano Viana



Foto: Trajano Viana

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações → Freiburg, Alemanha



Fotos: Trajano Viana



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações → Freiburg, Alemanha



Foto: Trajano Viana



Foto: Trajano Viana

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações → Alemanha



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações → Gröpelingen, Bremen, Alemanha



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações → Módulos de filme fino de a-Si



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- **SFVCR integrado a edificações** - Grupo ZEPPINI - São Bernardo do Campo



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- **SFVCR integrado a edificações** - Grupo ZEPPINI - São Bernardo do Campo



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações → UFSC – Florianópolis, SC



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- SFVCR integrado a edificações → UFSC – Florianópolis, SC



- Exemplo de SFVCR
→ (CELESC - Lages, SC)



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Exemplo de SFVCR - ELETROSUL, Florianópolis, SC



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Exemplo de SFVCR → Florianópolis, SC

CASA EFICIENTE - ELETROSUL



Características

- Módulos fotovoltaicos de silício policristalino (p-Si)
- Potência instalada - 2,25kWp
- Área do painel = 22 m²
- Apresenta geração média mensal de 220 kWh
- A geração corresponde ao consumo médio apresentado por 40% das residências da classe C no Brasil.

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Exemplo de SFVCR → UFSC – Colégio de Aplicação - Florianópolis, SC



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Exemplo de SFVCR → UFSC – Hospital Universitário - Florianópolis, SC



Foto: Trajano Viana

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Exemplo de SFVCR → Aeroporto Hercílio Luz – Florianópolis, SC

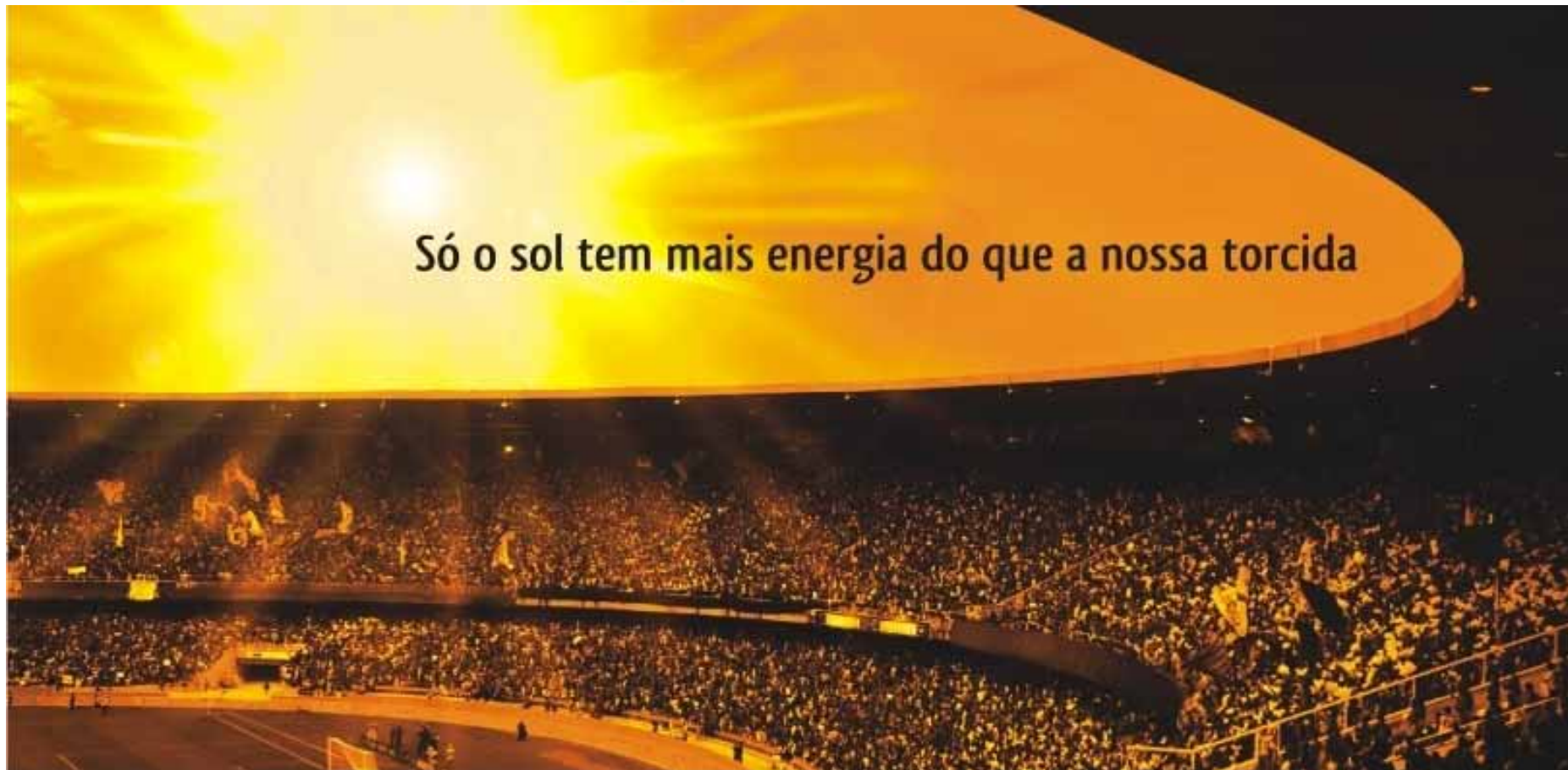


3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica



Projeto Estádios Solares

Opção sustentável para a Copa 2014 no Brasil



Projeto Estádios Solares

Opção sustentável para a Copa 2014 no Brasil



MINEIRÃO SOLAR – Gerador de 800 kWp na cobertura do Mineirão

Projeto Estádios Solares

Opção sustentável para a Copa 2014 no Brasil



**MARACANÃ SOLAR – Gerador de 3 MWp na cobertura do Maracanã
Suficiente para suprir a energia de cerca de 1800 residências**



Projeto Estádios Solares

Opção sustentável para a Copa 2014 no Brasil



**Estádio do Pituaçu – Salvador - Projeto de 400kWp aprovado pela ANEEL
Programa de P&D da COELBA/Neoenergia**

3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Exemplo de SFVCR - Planta fotovoltaica → Geração centralizada



3 - Sistemas Fotovoltaicos → Sistema FV Conectado à Rede Elétrica

- Exemplo de SFVCR - Planta fotovoltaica → Geração centralizada



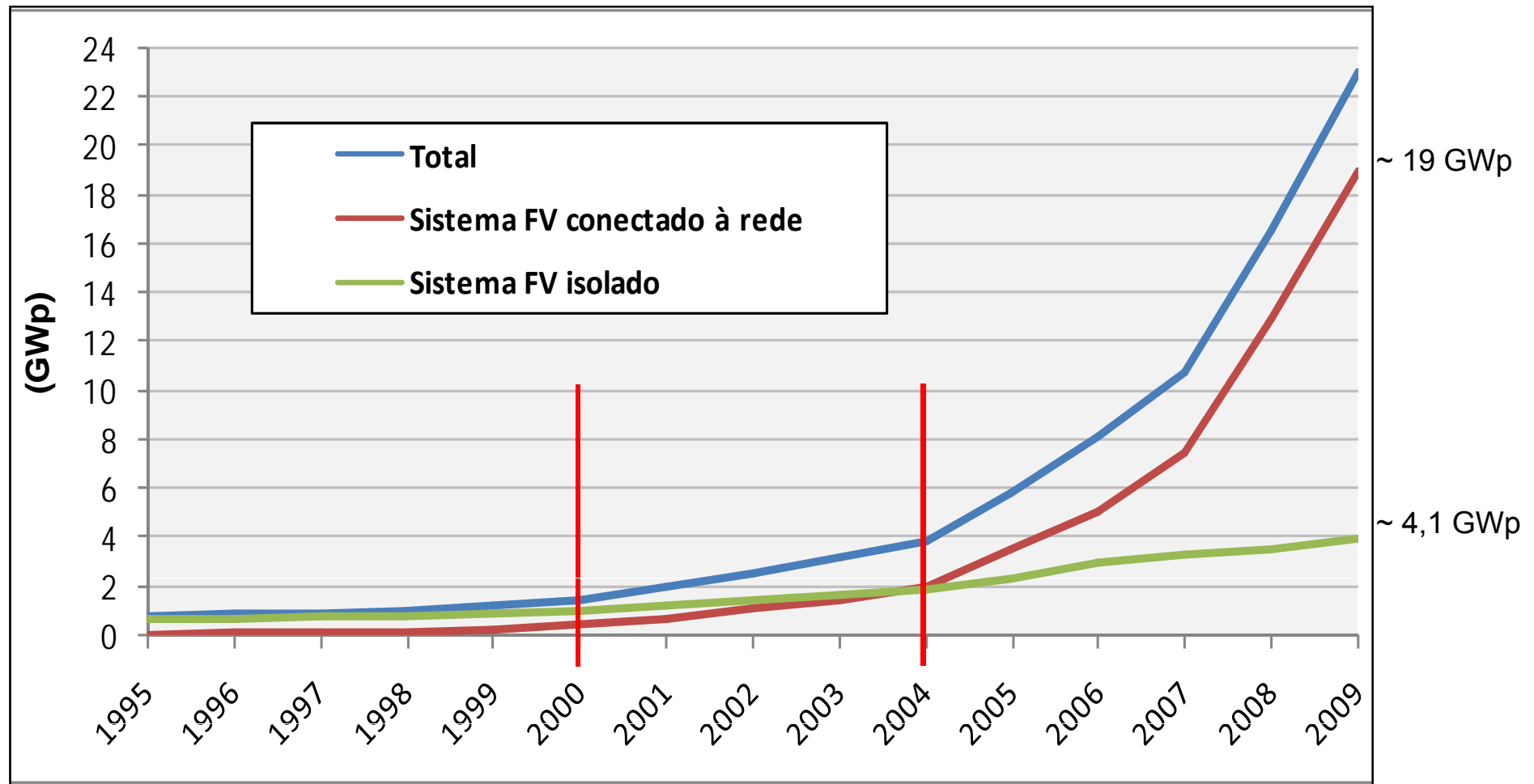
Foto: Trajano Viana



Foto: Trajano Viana

3 - Sistemas Fotovoltaicos → SFVI x SFVCR

- Capacidade instalada mundial de Sistemas Fotovoltaicos
 - Sistema conectado à rede – **SFVCR** (*grid-connected*)
 - Sistema isolado – **SFVI** (*off-grid*)



4 - Sistemas Fotovoltaicos com Concentração

Componentes e Exemplos de Sistemas Fotovoltaicos com Concentração

4 - Sistemas Fotovoltaicos com Concentração → SFVC

• Sistema Fotovoltaico sem Concentrador (SFV)

- Utiliza a radiação solar de forma natural, tal como chega à superfície das células fotovoltaicas
 - Radiação difusa+direta
 - Grande área de módulos → grande área das células (~250 cm²)

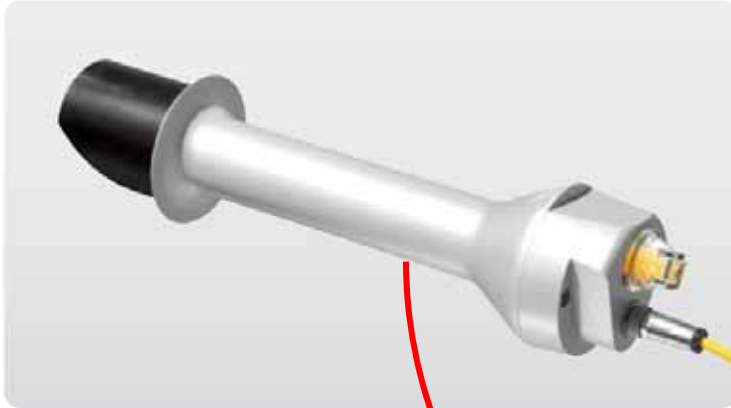
• Sistema Fotovoltaico com Concentrador → SFVC

- Utiliza a radiação direta normal → irradiância direta normal – G_{DIRN}
→ irradiação direta normal – H_{DIRN}
- A radiação solar é coletada, com o auxílio de dispositivos ópticos específicos, concentrada e focalizada sobre a superfície das células
 - Grande área de módulos → mas a área das células é muito menor do que a área de células dos SFV (~ 4 mm²)
- Concentração realizada por reflexão ou por refração:
 - Reflexão
 - Refração

4 - Sistemas Fotovoltaicos com Concentração → SFVC

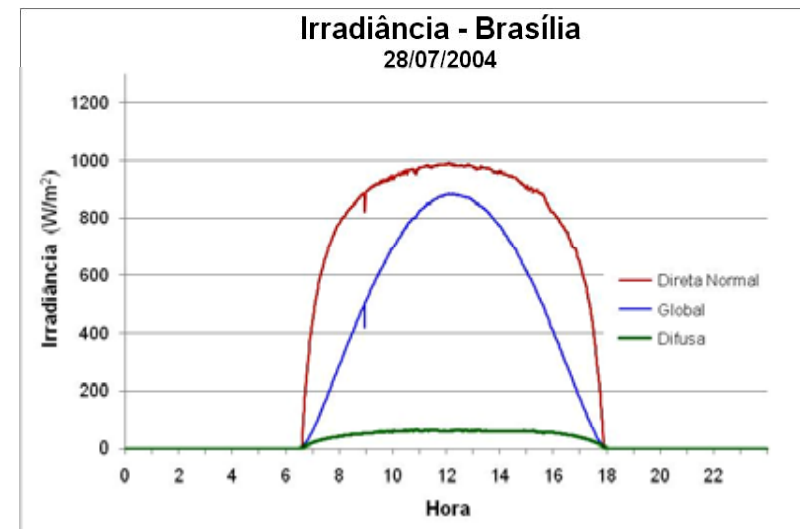
- Medição da irradiância direta normal → Seguidor do Sol

→ Pyrheliômetro

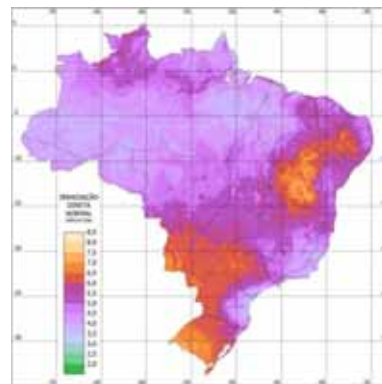
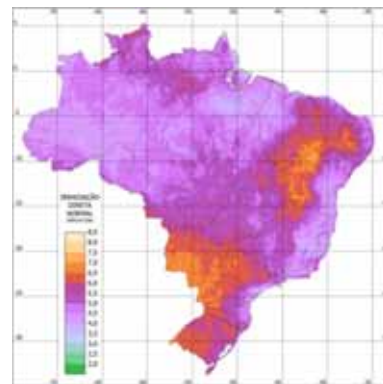
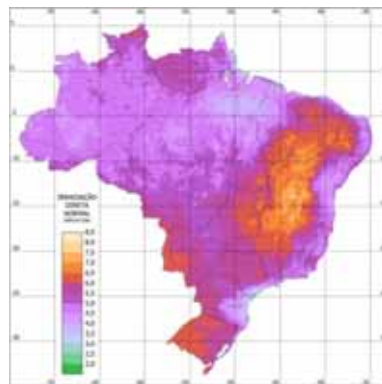
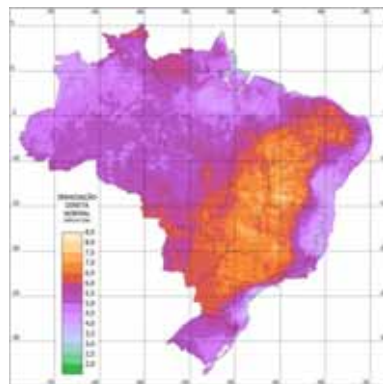
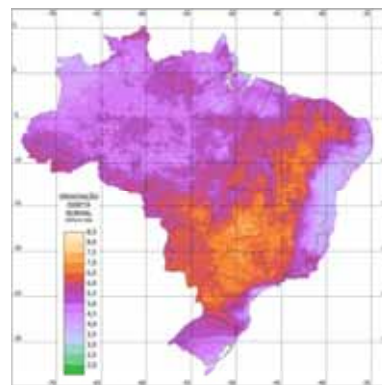
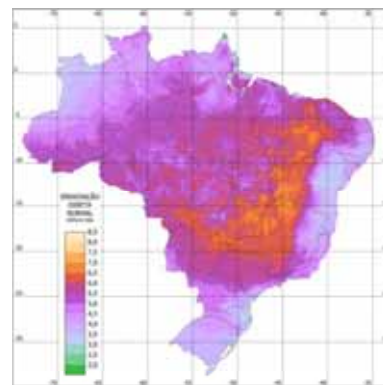
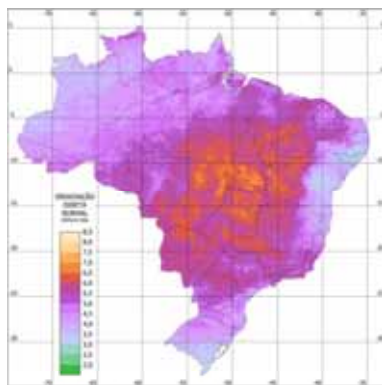
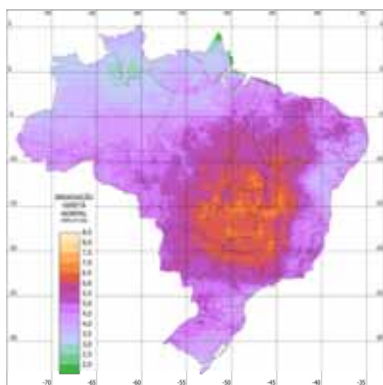
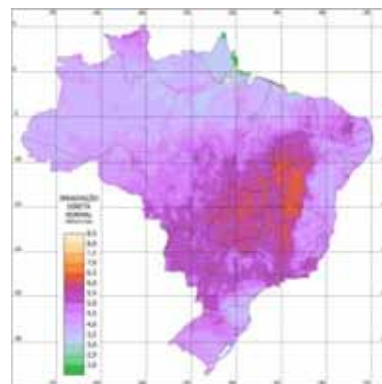
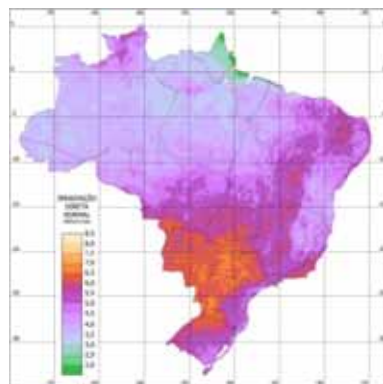
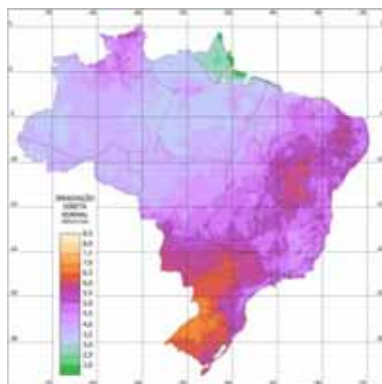
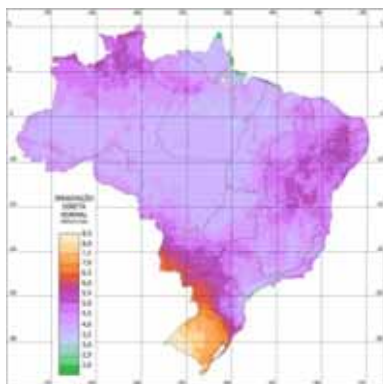


- O pyrheliômetro é especificamente projetado para medir a irradiância direta normal
- Possui com campo de visão limitado ($\sim 5^\circ$)
 - Tubo Colimador
 - Sensor
- É acoplado a um Seguidor do Sol (*Sun Tracker*)

→ Seguidor do Sol

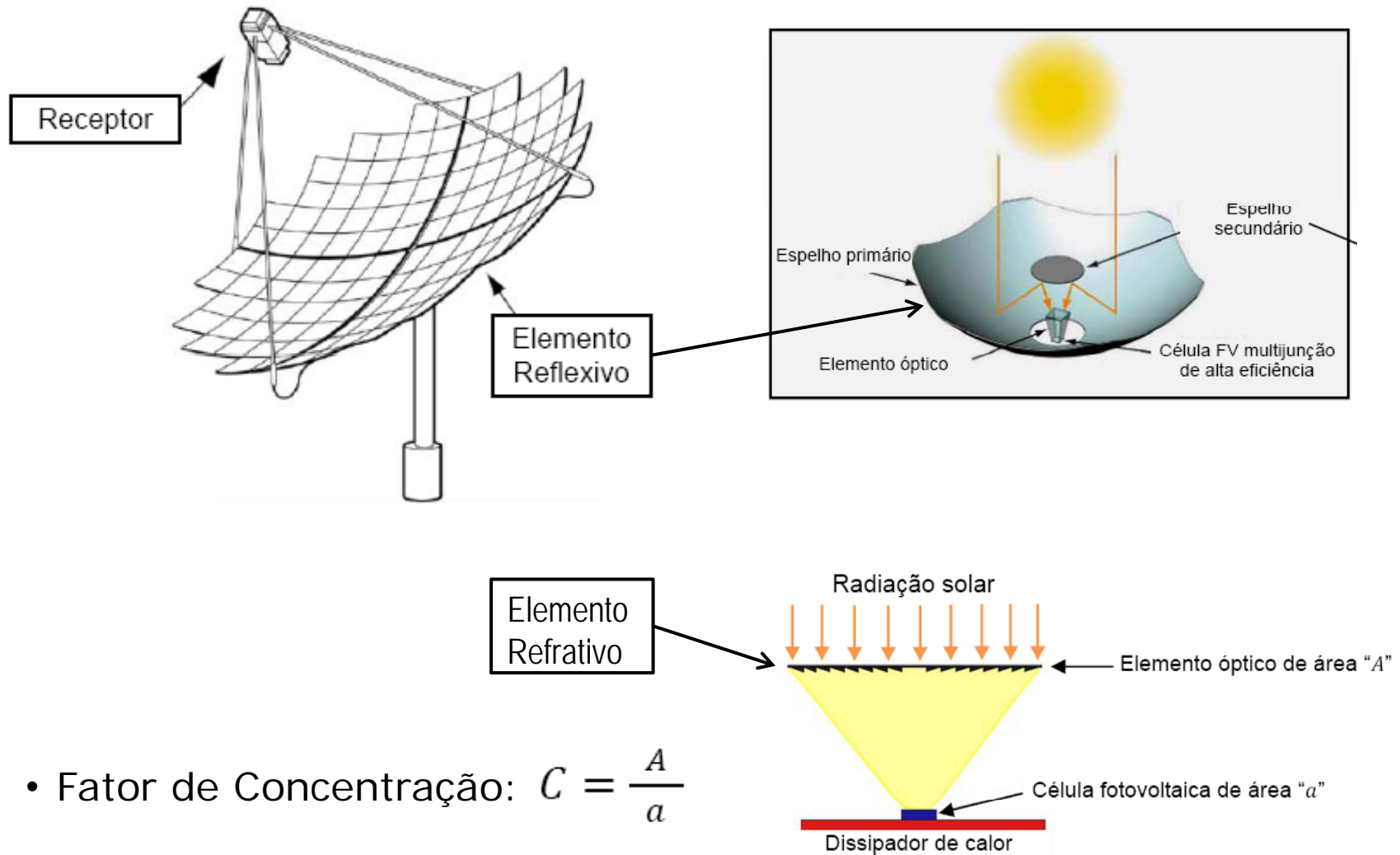


Mapas Mensais de Irradiação Direta Normal



4 - Sistemas Fotovoltaicos com Concentração → SFVC

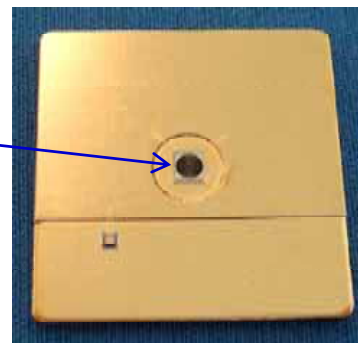
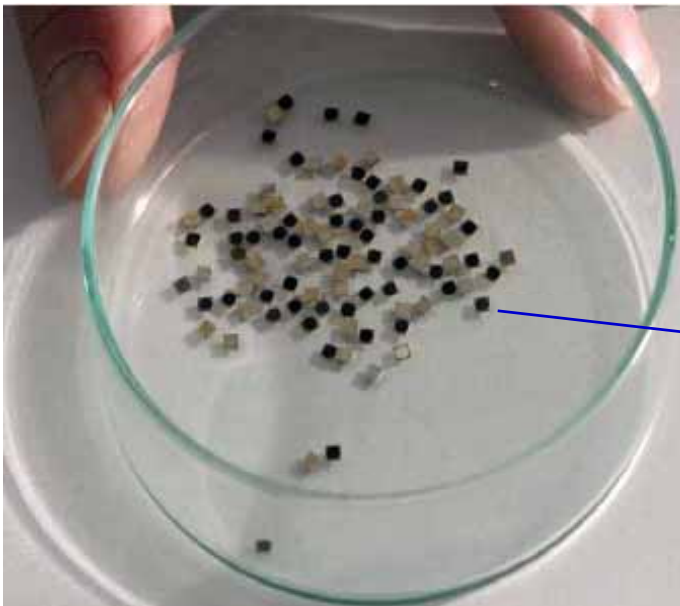
- **Elementos concentradores** – Espelhos e Lentes
→ Utilizam a radiação direta normal



4 - Sistemas Fotovoltaicos com Concentração → SFVC

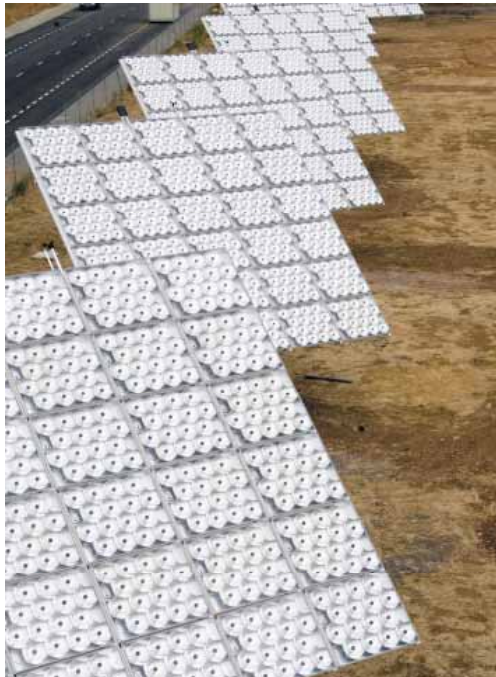
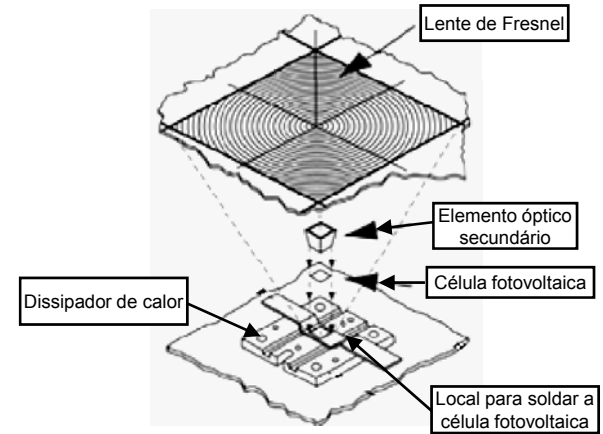
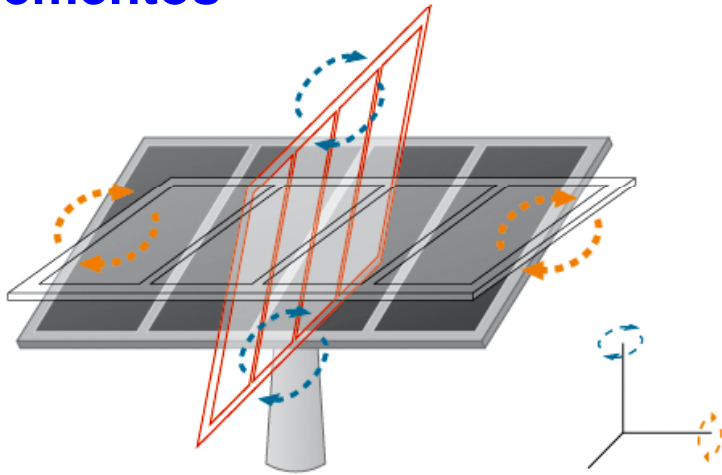
• Tecnologia das células fotovoltaicas para SFVC

- Células fotovoltaicas especiais de silício ou multijunção, não baseadas no silício, constituídas de elementos do grupo III-V (Ga, Ge, As, In e P)
- Dimensões da ordem de 1 cm² ou menos
- Concentradores < 500X - podem empregar células especiais, baseadas no silício
- Concentradores > 500X - empregam células fotovoltaicas multijunção (junção dupla ou tripla) → GaInP/GaInAs
→ AsInP/GaAs/Ge



4 - Sistemas Fotovoltaicos com Concentração → SFVC

- Elementos



4 - Sistemas Fotovoltaicos com Concentração → SFVC

- **Plantas Fotovoltaicas** - Sistemas de grande potência → kW, MW



Concentrador
parabólico



4 - Sistemas Fotovoltaicos com Concentração → SFVC

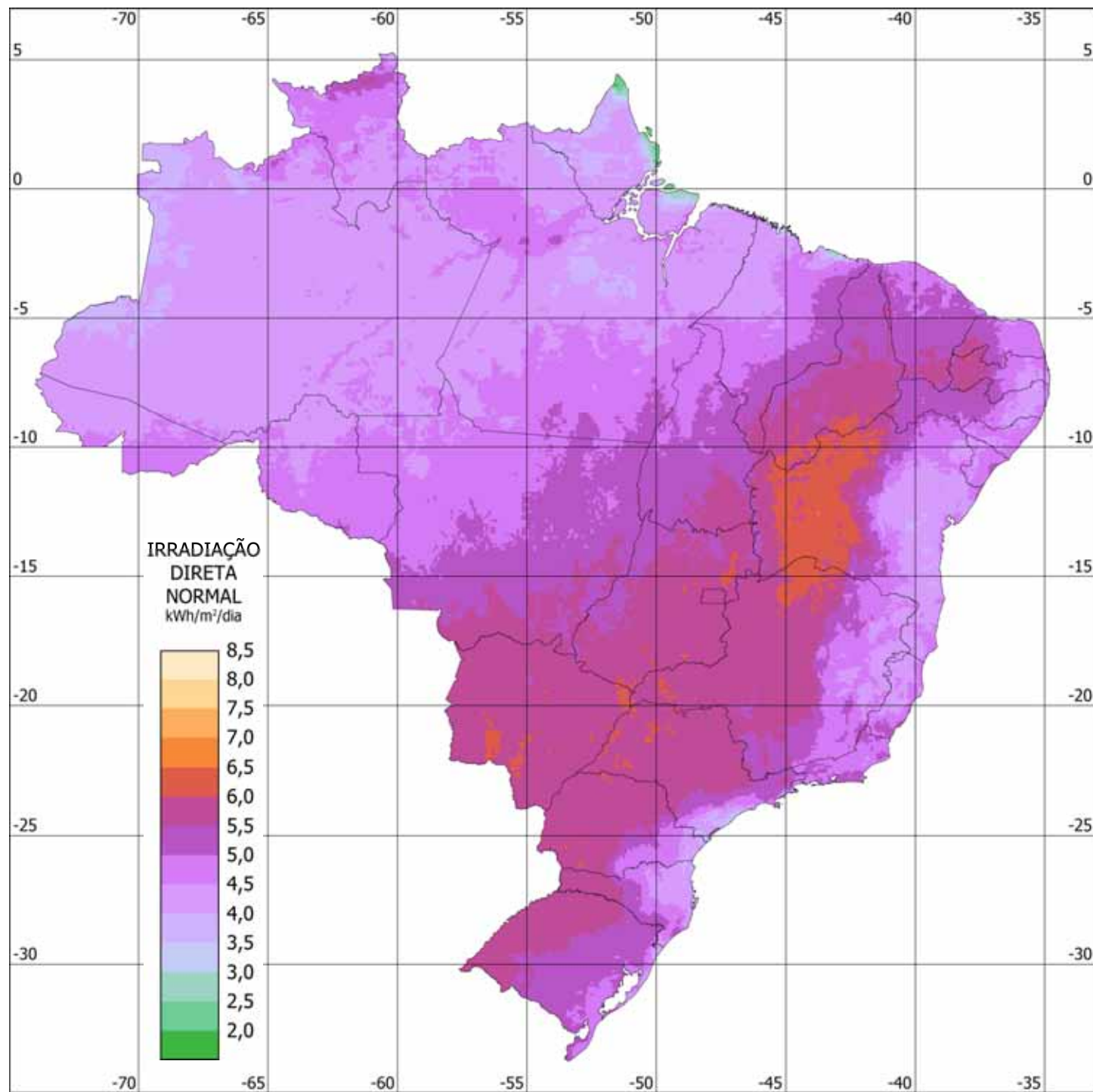
- **Plantas Fotovoltaicas** - Sistemas de grande potência → kW, MW



Concentrador com lente de Fresnel

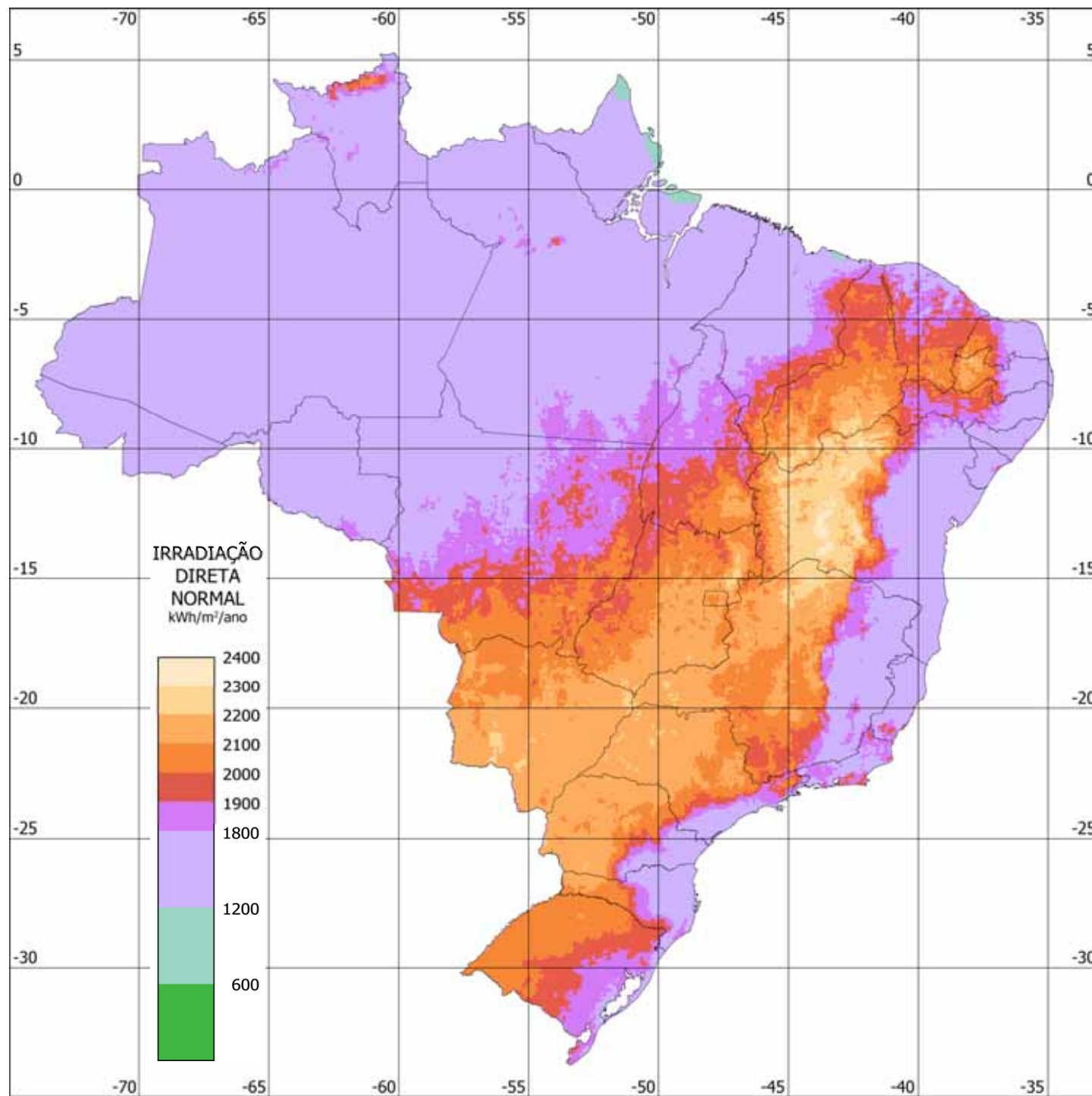


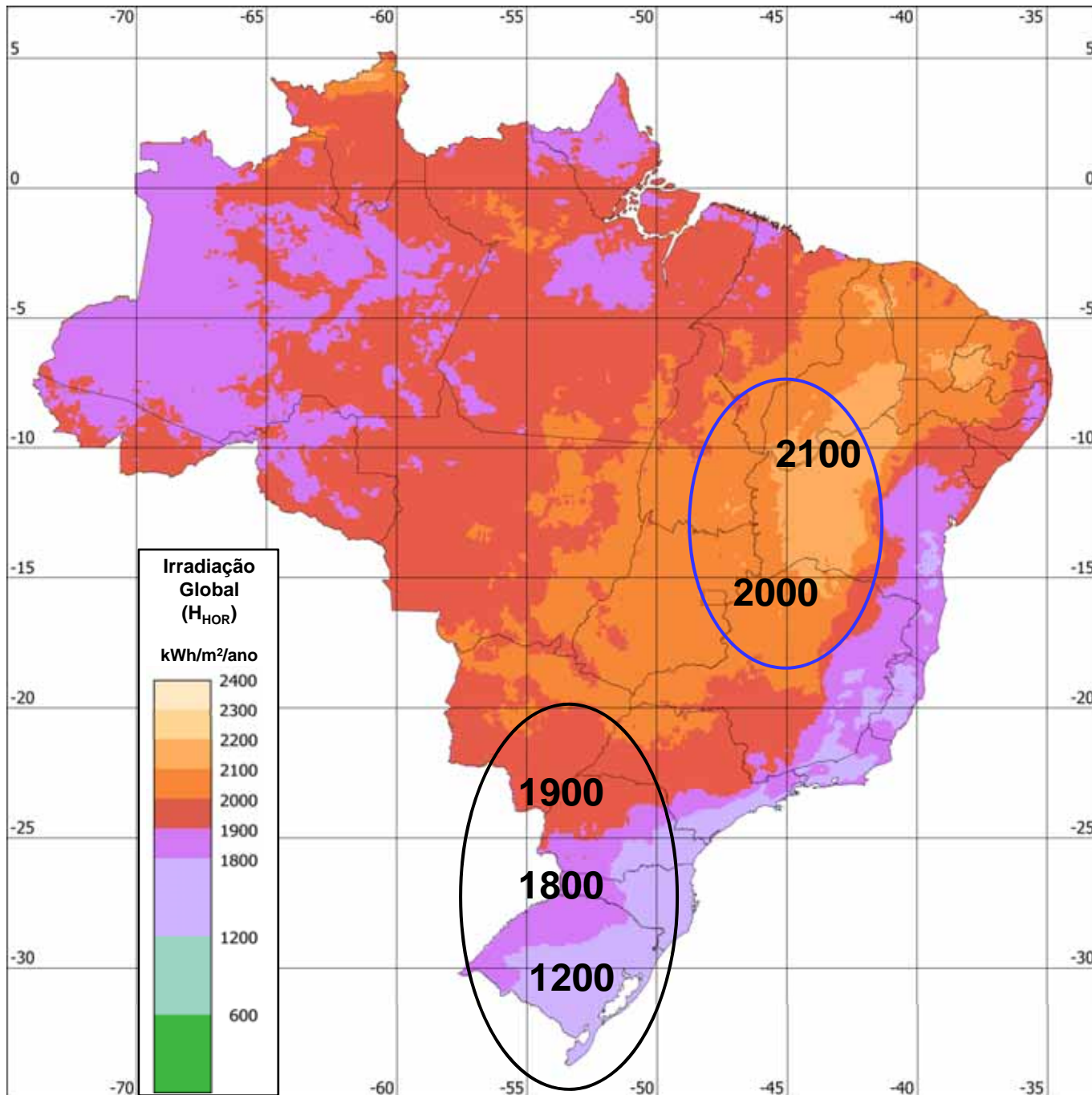
Média Anual
kWh/m²/dia



Total Anual

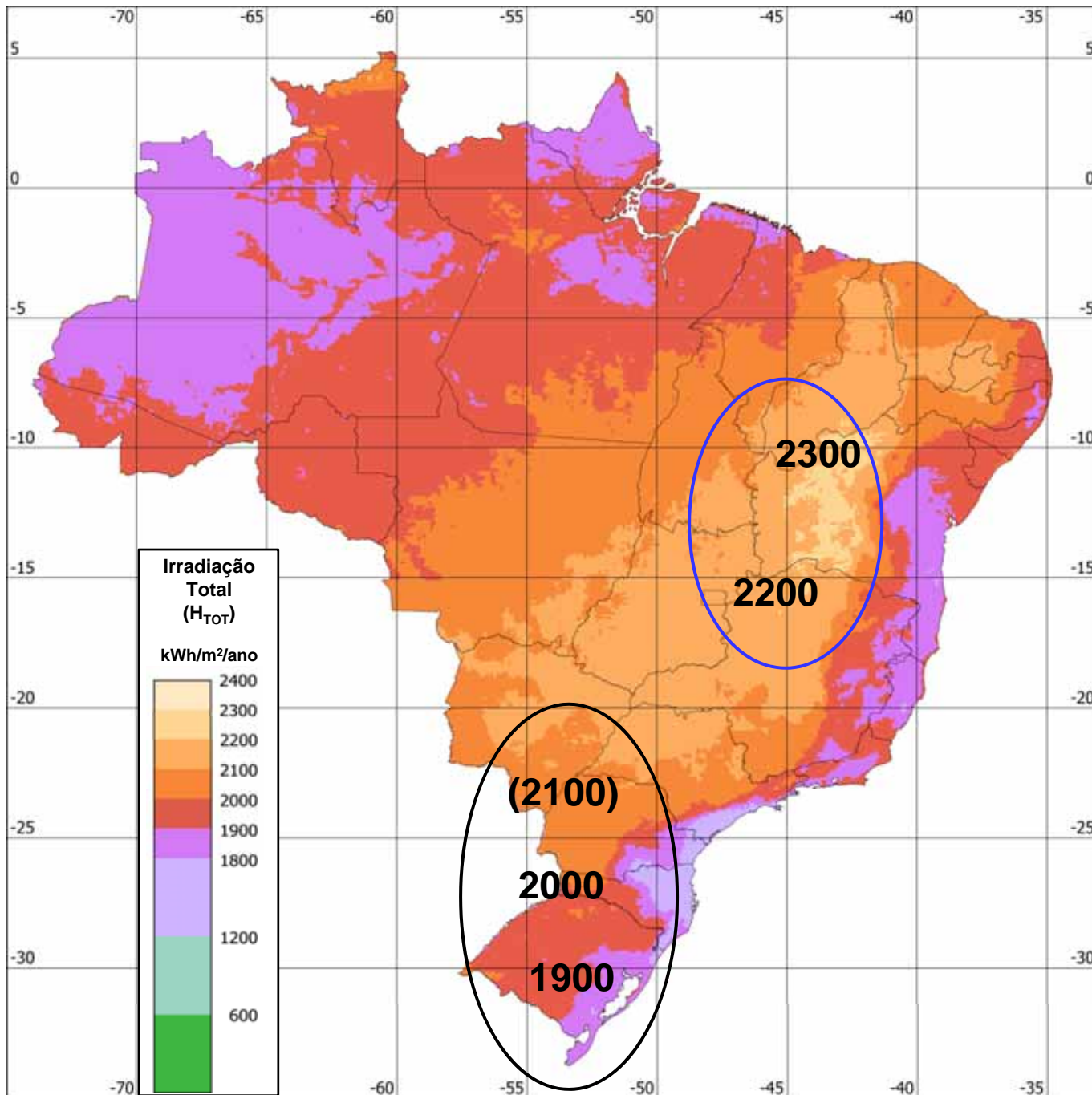
kWh/m²/ano





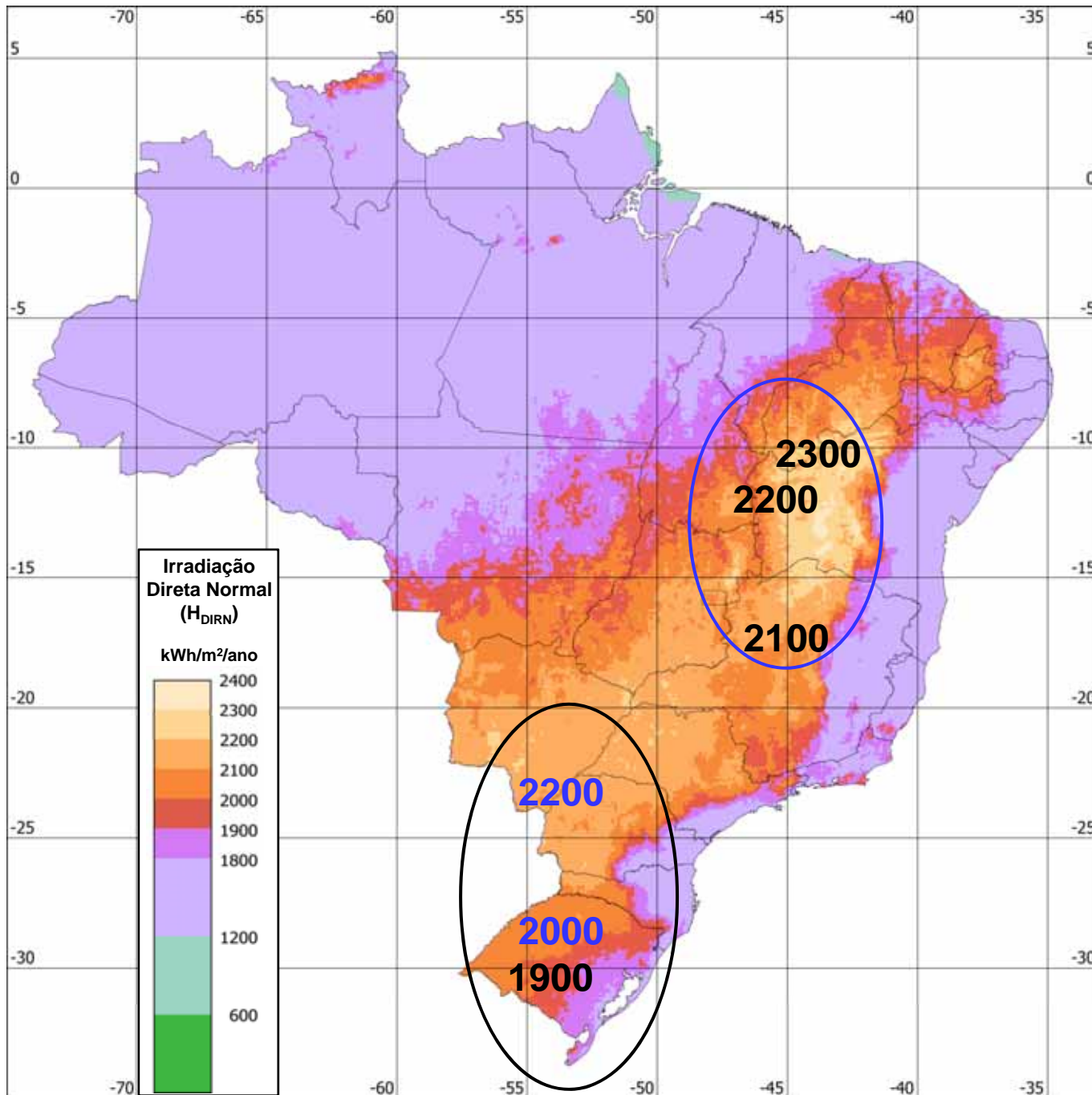
Irradiação Global (H_{HOR}) kWh/m²/ano

- Áreas com altos níveis de irradiação (BA, CE, TO, GO, PI, MG)
- Áreas com valores mais baixos (RS, SC, AM, PA, Litoral)



Irradiação Total (H_{TOT}) kWh/m²/ano

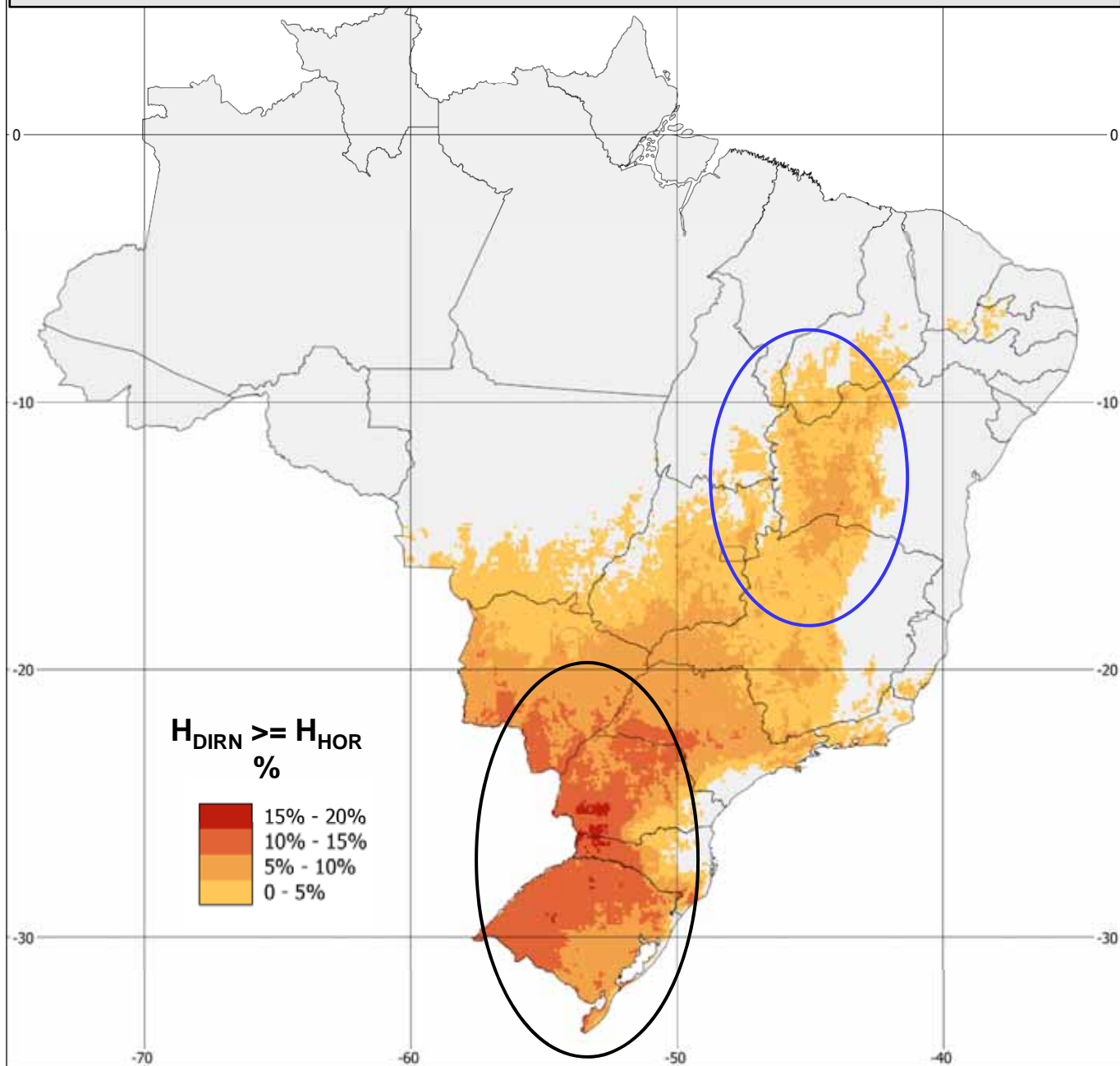
- Áreas com altos níveis de irradiação (PI, CE, BA, TO, GO, MG, MT, MS)
- Áreas com valores baixos (RS, SC, AM, Litoral)



Irradiação Direta Normal (H_{DIRN}) kWh/m²/ano

- Áreas com altos níveis de irradiação (PI, BA, GO, MG, SP, PR, MT, MS)
- Áreas com valores altos Oeste de SP, PR, SC e RS.

Locais nos quais H_{DIRN} é igual ou maior do que H_{HOR}

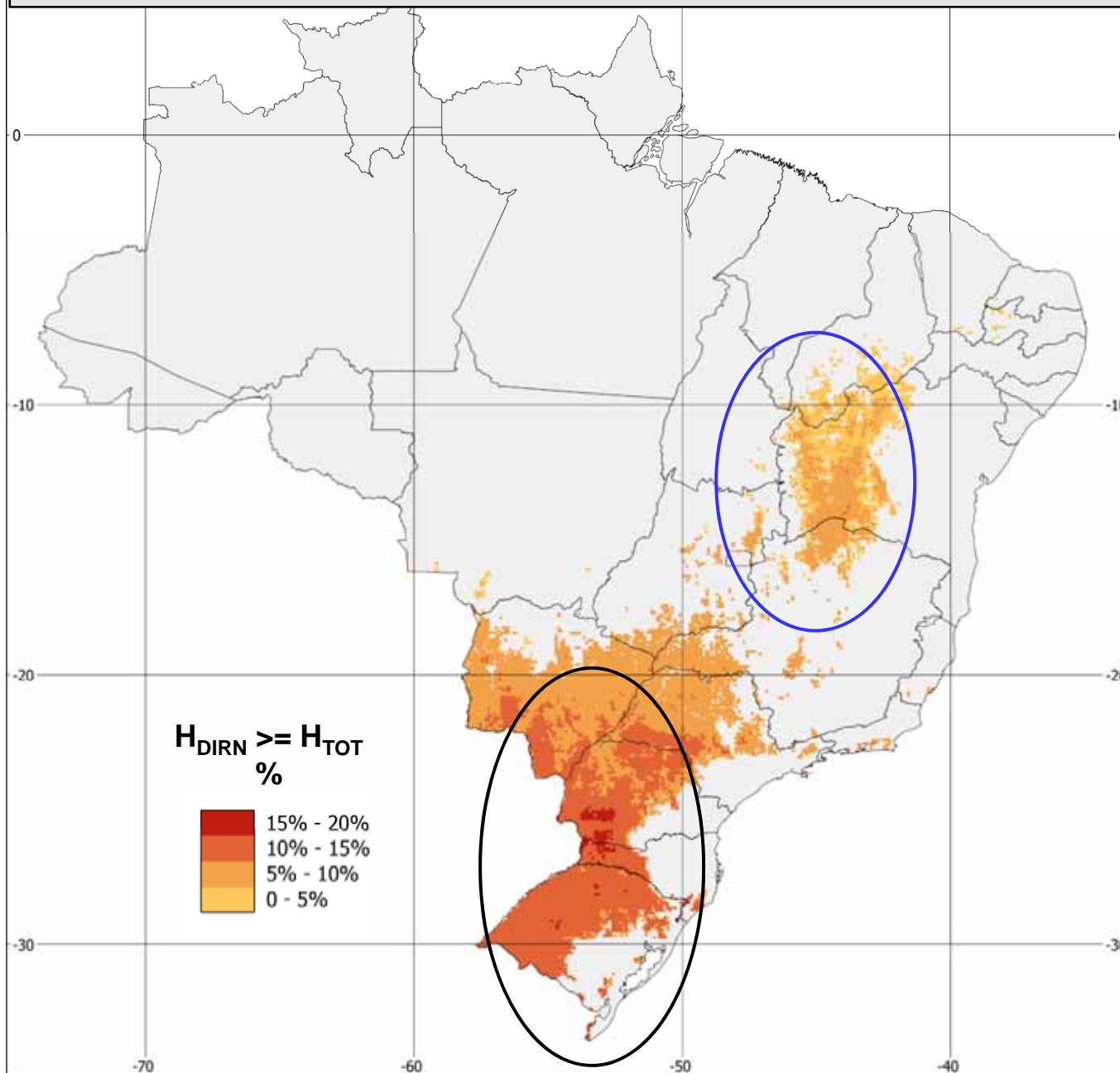


$H_{DIRN} \geq H_{HOR}$

Área do sul

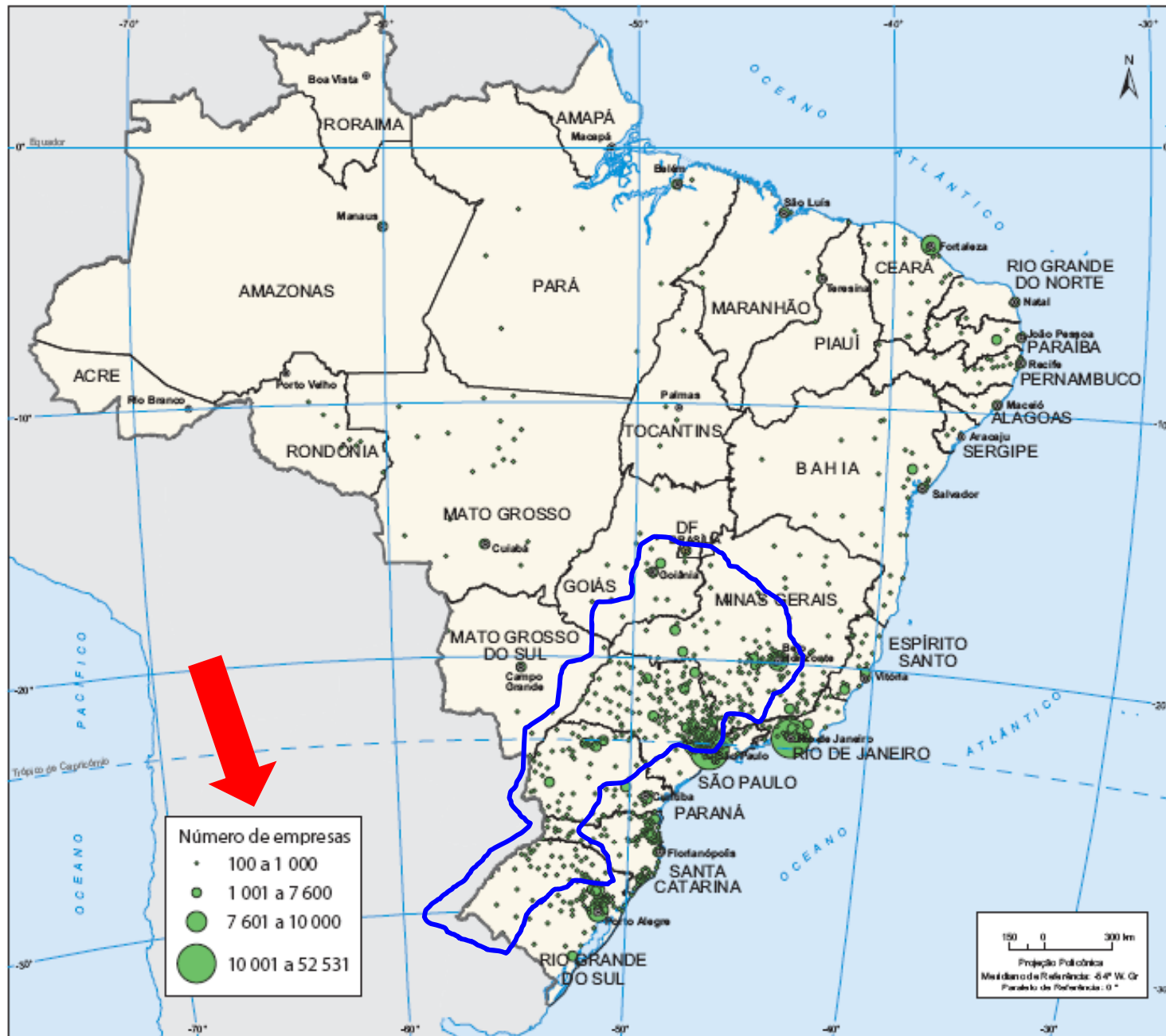
- Muito industrializada
- Potencial para geração distribuída
- ~25% da área do Brasil

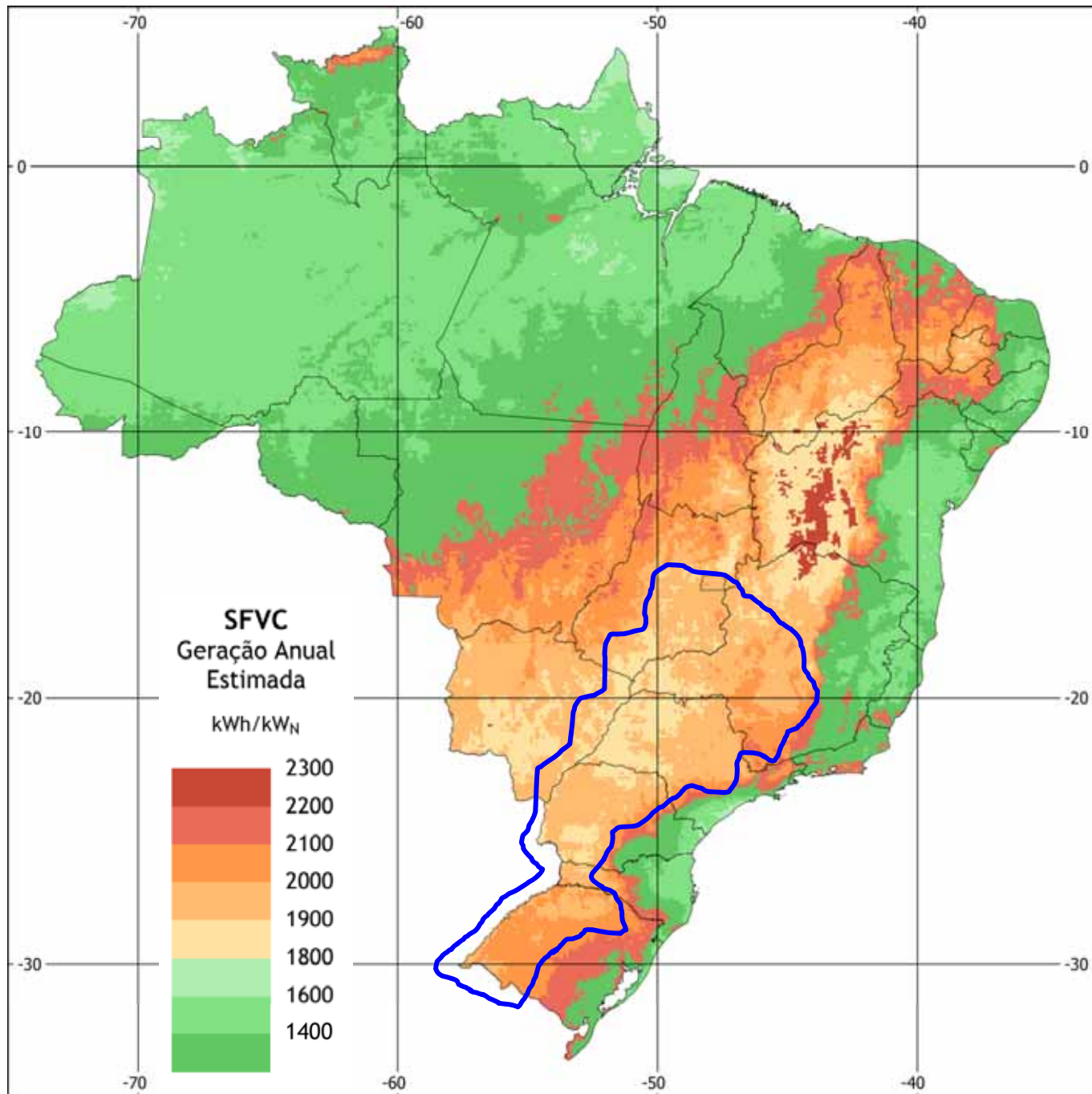
Locais nos quais H_{DIRN} é igual ou maior do que H_{TOT}

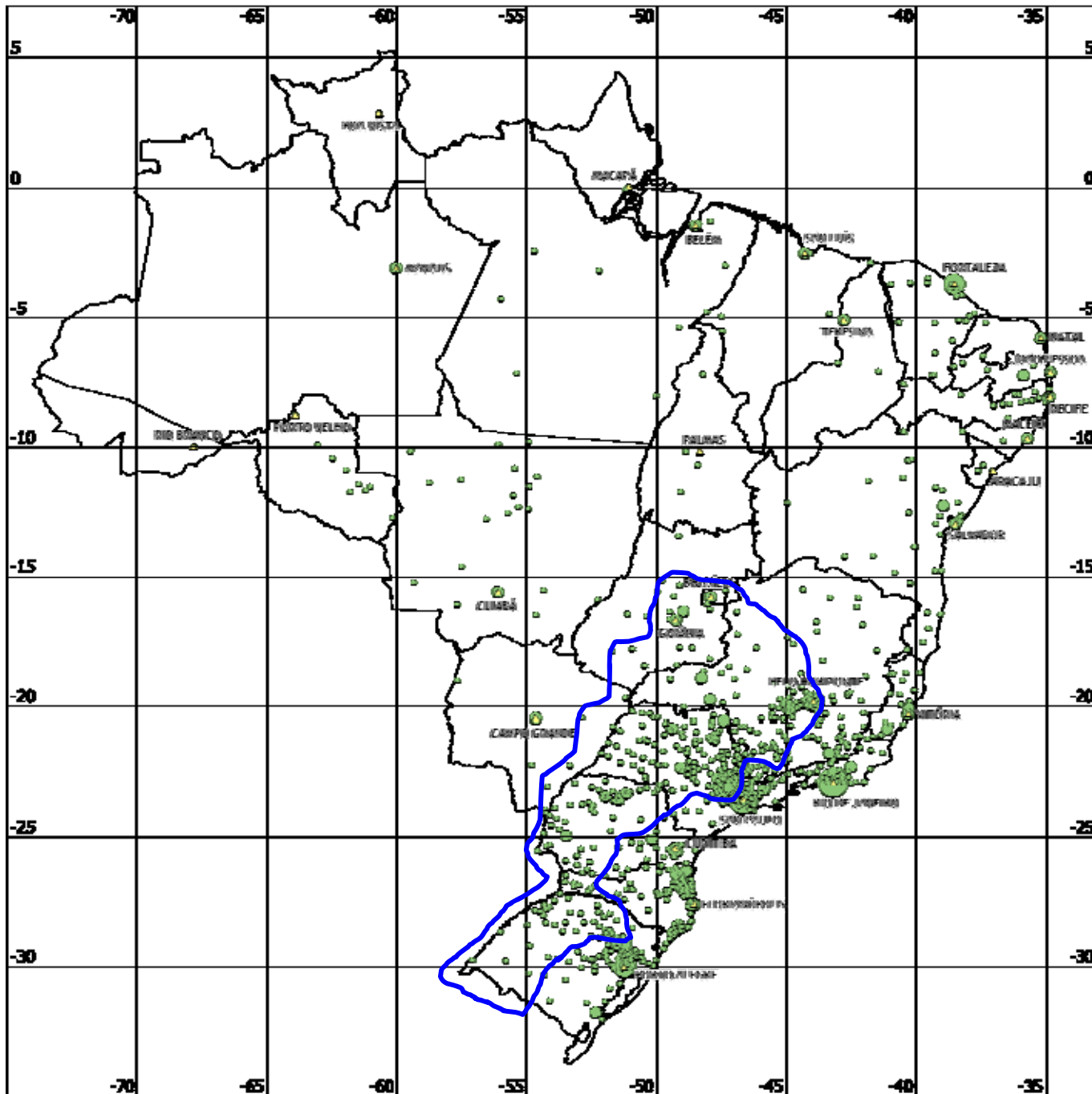


$H_{DIRN} \geq H_{TOT}$

- A região da Bahia apresenta potencial elevado (mas é região com baixa demanda) e está muito distante dos centros consumidores
- Região Sul apresenta grande potencial para a geração distribuída
 - proximidade com usina de Itaipu
 - possibilidade de geração e uso das LTs







ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO SOL

OBRI GADO!

PROF. TRAJANO VIANA

trajanoviana@gmail.com

trajano@labeee.ufsc.br